



BACHELORARBEIT

Herr
Robert Köhler

**Vergleich der IP-basierenden
Audionetzwerke DANTE
und RAVENNA im Bezug auf
Technologie und
Anwendungsgebiete**

2014

BACHELORARBEIT

Vergleich der IP-basierenden Audionetzwerke DANTE und RAVENNA im Bezug auf Technologie und Anwendungsgebiete

Autor:
Herr Robert Köhler

Studiengang:
Medientechnik

Seminargruppe:
MT10wH-B

Erstprüfer:
Prof. Dipl. Toningenieur Mike Winkler

Zweitprüfer:
Dipl.-Ing. (FH) René Fritzsche

Einreichung:
Mittweida, 05.02.2014

BACHELOR THESIS

Comparison of digital audio networks DANTE and RAVENNA relating to the underlying technology and the area of operation

author:

Mr. Robert Köhler

course of studies:

media technology

seminar group:

MT10wH-B

first examiner:

Prof. Dipl. Audio Engineer Mike Winkler

second examiner:

Dipl.-Ing. (FH) René Fritzsche

submission:

Mittweida, 05.02.2014

Bibliografische Angaben:

Nachname, Vorname: Köhler, Robert

Vergleich der IP-basierenden AV-Netzwerke DANTE und RAVENNA im Bezug auf Technologie und Anwendungsgebiete

Comparison of digital audio/ video-networks DANTE and RAVENNA relating to the underlying technology and the area of operation

2014 - 115 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2014

Abstract

In der Bachelorarbeit werden die IP-basierenden Audionetzwerke DANTE und RAVENNA in ihrer Technologie und ihren Anwendungsgebieten verglichen. Obwohl sich im professionellen Audiobereich bislang kein einheitlicher Standard für die Datenübertragung durchgesetzt hat, stechen beide Lösungen mit ihren technischen Möglichkeiten heraus. Der Vergleich soll nicht zum auf/abwerten einer Technologie dienen, sondern lediglich veranschaulichen, wozu beide Audionetzwerklösungen in der Lage sind. Zudem werden allgemein die Vorteile von Audio over IP beschrieben.

Inhaltsverzeichnis

Abstract.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Tabellenverzeichnis.....	XII
1 Einleitung.....	1
1.1 Vorwort.....	1
1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit.....	2
1.3 Struktur der Arbeit.....	3
1.4 Inhaltliche Abgrenzung der Arbeit.....	3
2 Grundlagen der Netzwerktechnik.....	3
2.1 ISO/ OSI- Referenzmodell.....	5
2.2 Ethernet nach IEEE 802.3.....	7
2.2.1 CSMA/CD-Algorithmus.....	8
2.2.2 Aufbau des Ethernetframes.....	9
2.3 Internet Protocol.....	10
2.4 User Datagramm Protocol.....	13
2.5 Real-Time Transport Protocol.....	14
2.6 Unicast, Multicast, Broadcast.....	15
2.7 Netzwerkkomponenten.....	16
2.7.1 Switch.....	17
2.7.2 Router.....	20
2.7.3 Medientypen.....	22
3 Grundlagen Audio over IP.....	25
3.1 Begriffsdefinition und Abgrenzung.....	25
3.1.1 Unterschiede zu den Begriffen Audiostreaming und Voice over IP.....	26
3.2 Problem der Interoperabilität	27
3.3 Grundbausteine von Audio over IP.....	29
3.3.1 Kompatibilität	29
3.3.2 Flexibilität.....	29

3.3.3	Skalierbarkeit.....	30
3.3.4	Komfort	31
3.3.5	Stabilität und Sicherheit.....	31
3.3.6	Geringe Kosten	34
3.3.7	Hardware	34
3.4	Vorteile gegenüber Ethernet-basierten Lösungen.....	34
4	RAVENNA.....	39
4.1	Allgemein.....	39
4.1.1	Die ALC NetworX GmbH.....	39
4.1.2	Einordnung ins OSI-Referenzmodell.....	40
4.1.3	Basiskomponenten.....	40
4.2	Verwendung des Internet Protocol.....	41
4.2.1	Infrastruktur.....	41
4.2.2	Kanalanzahl.....	42
4.2.3	Dateiformate	42
4.2.4	Redundanz.....	43
4.3	Synchronisation (PTP).....	44
4.3.1	Verbreitung des Mastertakts (Operation 1).....	45
4.3.1.1	Clock Domains.....	46
4.3.2	Erzeugen der Mediaclocks (Operation 2).....	46
4.3.2.1	Zeitepoche des Precision Time Protocol.....	48
4.3.3	Asynchrone Streams.....	48
4.4	Datenübertragung.....	49
4.4.1	Audio Video Profile.....	49
4.4.2	Packen und Entpacken.....	49
4.4.3	Stream Timing.....	50
4.4.3.1	Latenzen	51
4.4.4	Beschreibung des Streams.....	52
4.4.4.1	SDP-Erweiterung: Angabe der Synchronisationsquelle.....	53
4.4.4.2	SDP-Erweiterung: Zuordnung des RTP-Zeitstempels.....	53
4.4.4.3	SDP-Erweiterung: Abweichung des Taktes.....	53
4.5	Verbindungsaufbau und -management.....	54
4.5.1	Netzwerkkonfiguration.....	54
4.5.2	Sichtbarkeit von Diensten im Netzwerk.....	55
4.5.2.1	DNS-Service Discovery (DNS-SD).....	55
4.5.2.2	Multicast DNS (Bonjour)	56

4.5.2.3	Adressierung der Geräteservices.....	57
4.5.3	Verbindung zu einer Sitzung herstellen.....	57
4.5.3.1	RTSP Client- und Server Verhalten.....	58
4.5.3.2	Adressierung einer Sitzung anhand ihres Identifikators.....	58
4.5.3.3	Adressierung einer Sitzung anhand ihres Namens.....	59
4.5.4	Anzeige einer Streaming-Sitzung.....	59
4.5.5	Gerätekonfiguration.....	60
4.5.6	Monitoring.....	60
4.5.7	Einbinden eines Personal Computers.....	60
4.6	Quality of Service.....	62
4.6.1.1	Bandbreitenreservierung.....	62
4.6.1.2	QoS in Wide Area Networks.....	63
4.7	Einsatz von RAVENNA.....	63
4.7.1	Partnerfirmen.....	65
4.7.2	Einsatzgebiete.....	65
4.8	AES67.....	67
4.8.1	RAVENNA und AES67.....	68
5	DANTE.....	70
5.1	Allgemein.....	70
5.1.1	Hersteller Audinate.....	70
5.1.2	Einordnung ins OSI-Referenzmodell.....	71
5.1.3	Basiskomponenten.....	71
5.2	Verwendung des Internet Protocol.....	72
5.2.1	Infrastruktur.....	72
5.2.2	Verwendung proprietärer Protokolle.....	73
5.2.3	Kanalanzahl	73
5.2.4	Datenformate.....	74
5.2.5	Redundanz.....	74
5.3	Synchronisation (PTP).....	74
5.3.1	Verbreitung der Masterclock (Operation 1).....	75
5.3.1.1	Clock Domains.....	75
5.3.2	Erzeugen der Mediaclocks (Operation 2).....	76
5.4	Datenübertragung.....	76
5.4.1	Packen und Entpacken.....	77
5.4.2	Beschreibung des Streams.....	77
5.4.3	Latenzen	77

5.5	Verbindungsaufbau und -management.....	78
5.5.1	Adressierung und Konfiguration.....	78
5.5.2	Sichtbarkeit von Diensten im Netzwerk.....	78
5.5.3	Streaming Name und Inhaltsbezeichnung.....	79
5.5.4	Gerätekongfiguration.....	80
5.5.5	Monitoring.....	81
5.5.6	Einbinden eines Personal Computers.....	81
5.6	Quality of Service.....	82
5.7	Einsatz von DANTE.....	83
5.7.1	Partnerfirmen.....	83
5.7.2	Einsatzgebiete.....	84
5.8	IEEE 802.1 Audio Video Briding.....	85
5.8.1	AVB Domains.....	86
5.8.2	DANTE und AVB.....	87
6	Fazit.....	89
7	Kritik.....	91
8	Danksagung.....	91
	Literaturverzeichnis.....	X
	Anlagen.....	XV
	Eigenständigkeitserklärung.....	XIX

Abkürzungsverzeichnis

ACIP	Audio Contribution IP
AES	Audio Engineering Society
AoE	Audio over Ethernet
AoIP	Audio over IP
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AVB	Audio Video Briding
AVP	Audio Video Profile
BGP	Border Gateway Protocol
BMC	Best Master Clock
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DiffServ	Differentiated Service
DNS	Domain Name System
DNS-SD	Domain Name System Service Text
DVA	Distance Vector Algorithmus
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol
EBU	European Broadcast Union
EGP	Exterior-Gateway-Protocol
FPS	Frames Per Second
FTP	File Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IGMP	Internet Group Management Protocol

IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
LAN	Local Area Network
LSA	Links Status Algorithmus
NIC	Network Interface Card
NTP	Network Time Protocol
OSPF	Open Shortest Path First Protocol
PMC	Pulse Code Modulation
PTP	Presicion Time Protocol
QoS	Quality of Serice
RFC	Request for Comment
RIP	Routing Information Protocol
RTP	Realtime Transport Protocol
RTCP	Realtime Transport Control Protocol
RTSP	Realtime Transport Streaming Protocol
SDP	Session Description Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SPoF	Single Point of Failure
TCP	Transmission Control Protocol
ToS	Type of Service
UDP	User Datagramm Protocol
VLAN	Virtual Local Area Network
VoIP	Voice over IP
WAN	Wide Area Network
WWW	World Wide Web
Zeroconf	Zero Configuration Networking

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die sieben Schichten des OSI-Referenzmodells.....	5
Abbildung 2: Aufbau des klassischen Ethernetframes.....	9
Abbildung 3: Aufbau eines IPv4-Headers.....	11
Abbildung 4: Das Headerfeld ToS.....	12
Abbildung 5: Aufbau eines UDP-Headers.....	13
Abbildung 6: Aufbau eines RTP-Headers.....	14
Abbildung 7: Mögliche Beschallungssituation mit AoIP als Sternstruktur.....	30
Abbildung 8: Beispiel einer extrem „zitternden“ Sinuskurve	33
Abbildung 9: Vereinfachte Daisy-Chain-Anordnung im Livebereich.....	36
Abbildung 10: Audionetzwerke im technischen Vergleich.....	37
Abbildung 11: Das Signet der Firma ALC NetworX GmbH.....	39
Abbildung 12: Verteilung der Masterclock mit PTPv2.....	44
Abbildung 13: Basiskomponenten eines RAVENNA-Knoten für die Synchronisation...47	
Abbildung 14: Kompatibilität einiger AoIP-Lösungen mit AES67.....	68
Abbildung 15: Das Signet der Firma Audinate.....	70
Abbildung 16: Routing-Matrix des Dante Controllers von Audinate.....	80
Abbildung 17: Konnektivität der AVB-Technologie.....	87
Abbildung 18: Das DANTE-Grundgerüst mit AVB-Update.....	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In der Praxis vorkommende Varianten von Ethernet.....	8
Tabelle 2: Datenstromklassifizierung durch die Presedence-Bits	12
Tabelle 3: Dienstgüte-Kategorien nach Type-of-Service.....	12
Tabelle 4: Genormte Twisted-Pair-Kabeltypen.....	23
Tabelle 5: Die Basiskomponenten der RAVENNA-Technologie.....	40
Tabelle 6: Klassifizierung anhand der Differentiated Services Code Points bei AES6769	
Tabelle 7: Die Basiskomponenten der DANTE-Technologie.....	71
Tabelle 8: Verhältnis der Anzahl an Switch Hops zur minimalen Latenz	77
Tabelle 9: Klassifizierung anhand der Differentiated Services Code Points bei DANTE	82

1 Einleitung

1.1 Vorwort

Seit dem Aufkommen von IT-Netzwerken in der Audiotechnik Ende der 90er, haben sich die Möglichkeiten der Übertragung von Audiosignalen stark erweitert, weshalb IP-basierende Audionetzwerke zunehmend an Bedeutung gewinnen. Die moderne Netzwerktechnik ermöglicht Toningenieuren, mit vergleichsweise geringem Kosten- und Installationsaufwand, viele Audiosignale im Netz zu verteilen. Heutige Netzwerkressourcen reichen aus, um mehrere hundert Kanäle verlustfrei und mit niedriger Latenz¹ zu übertragen. Die Leistungsfähigkeit einer netzwerkbasierenden Übertragung ist dabei in erster Linie von den bereitgestellten Ressourcen der zugrundeliegenden Infrastruktur abhängig. Über die reine Punkt-zu-Punkt-Verbindung in analogen Systemen hinaus, ist man heute in der Lage, Signale beliebig innerhalb eines Netzwerks zu verteilen. Die verfügbare Bandbreite und die Verwendung IP-basierender Protokolle erlaubt es moderner Netzwerktechnik, im Gegensatz zu analoger Technik und älteren digitalen Technologien, beliebige Datenformate mit unterschiedlichen Sampling-Frequenzen und anderen Netzwerkdiensten gleichzeitig zu übertragen.²

Zuverlässige Netzwerktechnologie ist schon seit circa 20 Jahren weitflächig verfügbar. Die Protokolle und technologischen Verfahren, die genutzt werden, sind weltweit etabliert und standardisiert. Die Entwickler von Audionetzwerken müssen daher nicht auf proprietäre Technologien zurückgreifen. Standardisierte Hardware und Software aus dem Ethernet- und IP-Bereich reichen aus. Diese Flexibilität von Audio over IP erlaubt es selbst komplexe Infrastrukturen sehr einfach und schnell zu konfigurieren oder zu erweitern. Signale können beispielsweise zwischen mehreren Gebäuden und über weite Strecken verlustfrei übertragen werden. Insbesondere bei Großveranstaltungen oder komplexen Studioanwendungen haben sich digitale Audionetzwerke bewährt und werden immer häufiger eingesetzt.³

1 Die Latenz beschreibt den Zeitraum der Verzögerung zwischen dem Zeitpunkt des Audio-Inputs und der Ausgabe des Audiosignals.

2 URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf [Stand: 18.11.2013]

3 CHURCH, 2010: S. 2

1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Seitdem sich Ethernet Ende der 80er als Verbindungselement weltweiter Informationen durchgesetzt hat, wurden viele Lösungen zur Echtzeit-Übertragung von Audiodaten auf Ethernetbasis entwickelt. Viele solcher Audionetzwerke nutzen jedoch nur bedingt offene Standards. Meist werden zusätzlich eigene Protokolle verwendet, welche für den Transport von Audiodaten optimiert sind. Dadurch sind diese Technologien vollständig inkompatibel zueinander, da alle einen geschlossenen, meist mit einer strikten Lizenzierungspolitik versehenen Ansatz anbieten.⁴ Netzwerklösungen für die Übertragung von Audiodaten lassen sich anhand des OSI-Referenzmodells (siehe Kapitel 2.1) kategorisieren. Während Netzwerke auf Schicht 1 (z.B. A-Net, Optocore) und Schicht 2 (z.B. CobraNet, Ethersound) Ethernet als Basis verwenden, basieren Lösungen der Schicht 3 auf dem Internet Protocol (z.B. Livewire).⁵

DANTE und RAVENNA verfolgen ebenfalls den Gedanken einer kompletten Netzwerklösung auf IP-Basis. Da Audionetzwerke auf Schicht 1 und 2 offenkundig Defizite gegenüber der IP-basierenden Datenübertragung haben, werden diese bald der Vergangenheit angehören. Die Hersteller Audinate und ALC NetworX möchten die proprietären Technologien ablösen und jeder auf eigene Weise einen einheitlichen Standard anbieten. DANTE nutzt größtenteils offene, standardisierte Protokolle, wird aber mittels einer Lizenzierungspolitik vertrieben. Auch RAVENNA nutzt offene Standards und Protokolle und möchte vom Hersteller ALC NetworX als offener Standard ohne Lizenzierungen etabliert werden. Da beide Lösungen auch mit ihren technischen Eigenschaften aus der Masse hervor stechen, gelten sie als zukunftsweisend. Darum wird in dieser wissenschaftlichen Arbeit die technische Seite von DANTE und RAVENNA detailliert beschrieben. Da es zu den Produkten verhältnismäßig wenige aufgearbeitete Informationen gibt, basieren die Inhalte der Arbeit teilweise auf Aussagen der Entwickler und den Betriebsanleitungen der Produkte.

Das Ziel dieser Arbeit besteht im Vergleich der angesprochenen Audionetzwerke. Dabei sollen sowohl die technologischen Unterschiede von DANTE und RAVENNA, als auch der aktuelle Stand beschrieben werden. In einem weiteren Schritt werden aus den daraus gewonnenen Kenntnissen mögliche Anwendungsgebiete aufgezeigt.

4 URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf [Stand: 18.11.2013]

5 URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf [Stand: 18.11.2013]

1.3 Struktur der Arbeit

Um den Leser mit dem Thema vertraut zu machen, werden in den Kapiteln 2 und 3 zunächst Grundlagen der Netzwerktechnik und AoIP erläutert. Dabei wird auf Standards, Protokolle, Modelle und Organisationen der Netzwerktechnik eingegangen. Zudem werden ältere digitale Audionetzwerke und ihre Eigenschaften allgemein vorgestellt. Dabei soll vor allem die enorme Entwicklung der Netzwerktechnik, welche in den letzten Jahren im professionellen Audiobereich stattfand, beschrieben werden. Außerdem soll offengelegt werden, welche Unterschiede zwischen älteren Netzwerklösungen und DANTE und RAVENNA bestehen. Im Hauptteil dieser wissenschaftlichen Arbeit werden die Technologien beider Audionetzwerke detailliert beschrieben. Da die Hersteller Audinate und ALC NetworX unterschiedliche Wege der Produktpolitik gehen, folgt anschließend ein Ausblick in die nahe Zukunft. Während die ALC NetworX GmbH mit RAVENNA eine für jeden zugängliche Technologie entwickelt hat, geht Audinate mit DANTE den Weg der Lizenzvergabe für ihr Produkt. Dabei werde ich mich konkret auf die Netzwerk-Standardsets Audio Video Bridging und AES67 beziehen. Während DANTE mit AVB-Netzwerken kompatibel ist, möchte RAVENNA durch die Unterstützung des AES67-Standards seine Interoperabilität ausweiten. Welcher Weg als zukunftsweisend anzusehen ist, wird daher eine zentrale Rolle spielen. Zusätzlich werde ich auf Anwendungsgebiete, Partnerfirmen und die Entwicklerfirmen selbst eingehen. Hier wird verdeutlicht, inwiefern sich DANTE und RAVENNA bisher im Markt etabliert haben.

1.4 Inhaltliche Abgrenzung der Arbeit

Für DANTE und RAVENNA ist die Übertragung von Videodaten teilweise umgesetzt, beziehungsweise noch in der Planungsphase. Thematisiert wird deshalb nur der Audiobereich. Bei der theoretischen und technischen Auseinandersetzung werde ich mich weder auf elektronische Eigenschaften von Kabeln und Geräten, noch auf die Entwicklung eines Audionetzwerks beziehen. Im Vordergrund, sollen die technischen Eigenschaften und damit verbundene Anwendungsgebiete stehen.

2 Grundlagen der Netzwerktechnik

Netzwerke werden weltweit genutzt, um Informationen über mehrere Stationen zu verteilen. In vielen Anwendungsbereichen bilden Netzwerkinfrastrukturen die Basis für den

Kommunikationsaustausch. Die stetig fortschreitende Vernetzung findet sowohl auf lokaler Ebene, als auch im Weitverkehrsbereich statt. Als ein Local Area Network wird zum Beispiel eine Netzwerkinfrastruktur innerhalb eines Unternehmens, also innerhalb einer geographisch eingeschränkten Fläche, bezeichnet. Die Kommunikation läuft nur innerhalb des LANs ab und wird nicht nach außen getragen. Ein Wide Area Network kann auf Basis einer eigenen Infrastruktur lokale Netze miteinander verbinden. Sie können den Informationsaustausch eines LANs über den lokalen Bereich hinaus erweitern.

Vor allem die weltweite Vernetzung abseits des Internets, aber auch die Vielfalt an Anwendungsgebieten stellen immer höhere Anforderungen an Netzwerksysteme. Hoher Datendurchsatz, einfaches Management und überschaubare Kosten sind signifikant für den Betrieb und den Ausbau eines Netzwerks.⁶

Trotz andauernder Innovation greifen viele Anwendungen auf standardisierte Netzwerktechnologien im Software- und Hardwarebereich zurück. Auch bei einer Echtzeitsensitiven Anwendung, wie die verlustfreie Übertragung von Audiodaten, kann auf standardisierte Protokolle, Software und Hardware zurückgegriffen werden. In sogenannten Request for Comment-Dokumenten werden standardisierte Netzwerktechnologien, wie das Internet Protocol beschrieben. Die Dokumentation ist frei zugänglich, da RFCs keinem Hersteller gehören. Sie werden von der Internet Engineering Task Force⁷ entwickelt und veröffentlicht. Oft handelt es sich auch nur um Neuigkeiten aus der Netzwerkwelt, beziehungsweise werden vielfach Vorschläge oder Leitlinien veröffentlicht, welche von Herstellern aber nicht zwingend umgesetzt werden müssen.

Die Standardisierung bildet die Grundlage der Kommunikation in allen Arten von Netzwerken und fördert die Interoperabilität bei der Datenübertragung. In der Praxis lässt sich dies aber kaum realisieren. Da der Betreiber eines Netzwerks aufgrund des jeweiligen Anwendungsgebietes unterschiedliche Anforderungen an das Netzwerk stellt, unterscheidet sich jedes System vom anderen. Der Einsatz spezieller, modifizierter und proprietärer Technologien wirkt sich auf die Eigenschaften eines Netzwerks aus. Aufgrund eines fehlenden Standards sind Audio over IP-Lösungen somit vollständig inkompatibel zu einander.

⁶ RIGGERT, 2012: S. 13

⁷ Ein Gremium, bestehend aus Netzwerkbetreibern, -designern, -anbietern sowie Forschern zur Erstellung technischer Standards im Internet.

Im Folgenden werden wichtige Grundlagen der Netzwerktechnik hinsichtlich lokaler Datennetzwerke behandelt. Dieser Teil erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Es werden lediglich für das Thema relevante Grundlagen in Betracht gezogen.

2.1 ISO/ OSI- Referenzmodell

Das OSI-Referenzmodell ist ein konzeptioneller Rahmen, welcher den Kommunikationsvorgang eines offenen Systems in sieben aufeinander aufbauenden Schichten einteilt. Dabei repräsentieren die unteren vier Schichten netzorientierte Funktionen, während die oberen drei Schichten als anwendungsbezogen eingestuft werden. Mit Hilfe des Schichtmodells wird versucht, die Struktur der Kommunikation innerhalb eines Netzwerks zu standardisieren. Den Schichten liegen allgemeine Vereinbarungen zugrunde, welche jedoch nicht umgesetzt werden müssen. Eher dient es als Leitidee für den Entwurf und die Implementierung von Standards, Verfahren und Geräten.⁸ Das Referenzmodell ermöglicht somit eine Hersteller-neutrale Basis zur Beschreibung von Funktionen und Spezifikationen von Protokollen, welche auch heute noch von Herstellern angesehen wird und trotz Realitätsferne ihre Gültigkeit hat.

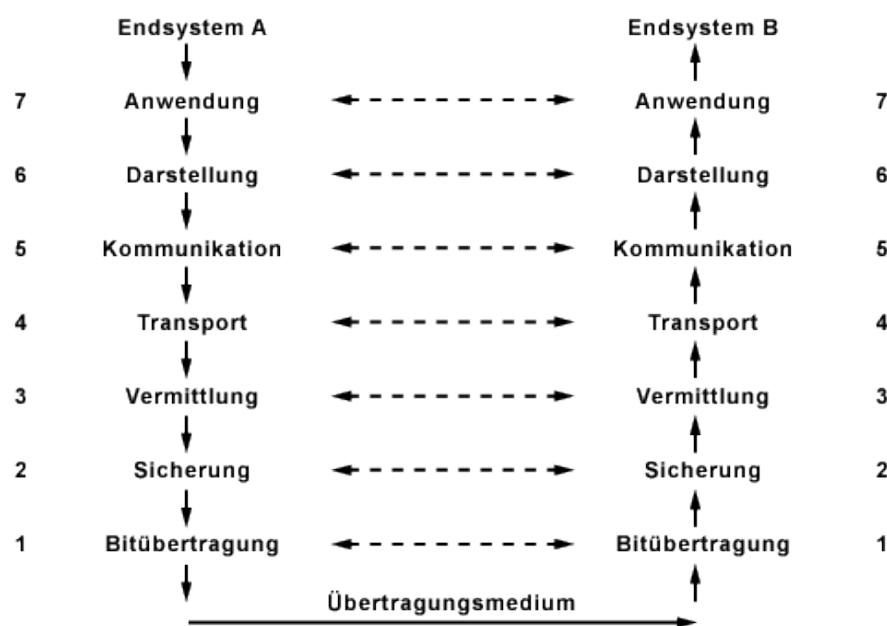


Abbildung 1: Die sieben Schichten des OSI-Referenzmodells⁹

Schicht 1 – physikalische Schicht Auf dieser Schicht sind die Parameter für eine physikalische Übertragung festgelegt. Es sind Kabellängen, Kabeltypen, Anschlüsse und weitere elektronische, mechanische und funktionale Eckdaten wie die Art der Lei-

⁸ RIGGERT, 2012: S. 26

⁹ URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/bilder/03012011.gif> [Stand: 21.11.2013]

tungscodierung definiert. Neben der Festlegung des Übertragungsmediums muss auch die Betriebsart definiert werden. Dabei muss der Frage nachgegangen werden, ob die Datenübertragung nur in eine Richtung (Simplex), abwechselnd in zwei Richtungen (Halbduplex) oder gleichzeitig in beide Richtungen (Duplex) verlaufen soll. Als Norm der untersten Schicht gilt z.B. das weitverbreitete Ethernet nach IEEE 802.3.¹⁰

Schicht 2 – Sicherungsschicht Auf der zweiten Schicht des OSI- Referenzmodells soll eine zuverlässige Übertragung garantiert werden. Dabei wird der zu übertragende Bitstrom in logische Einheiten gruppiert. Je nach Netzwerktechnologie entstehen dadurch verschieden große Frames, welche mit Folgenummern und Prüfsummen versehen werden. Wenn ein entsprechendes Protokoll auf einer höheren Ebene vorhanden ist, können Pakete bei Bedarf neu angefordert werden. Außerdem regelt die Sicherungsschicht die Zugriffsart auf das Netzwerk und übernimmt die physikalische Adressierung innerhalb eines Netzsegments.¹¹

Schicht 3 – Vermittlungsschicht Diese Schicht legt die Wege eines Paketdatenstroms von Sender zu Empfänger im Netzwerk fest. Dazu werden logische Adressen aller angeschlossenen Geräte definiert, sodass Pakete geroutet werden können. Bestimmte Protokolle sorgen außerdem für eine netzwerkübergreifende Kommunikation, indem Mechanismen für die Format- und Protokollanpassung zur Verfügung gestellt werden.¹²

Schicht 4 – Transportschicht Die vierte Schicht ist das Bindeglied zwischen den transportorientierten und den anwendungsorientierten Schichten. Hier werden die Datenpakete einer Anwendung zugeordnet. Die Transportschicht stellt in erster Linie einen Transportservice bereit, welcher den Datentransport sichert und die Segmentierung der Datenpakete steuert. Somit können Streams per Flusskontrolle vor Überlastung geschützt werden. Den anwendungsorientierten Schichten ist es möglich einheitlich auf das Netzwerk zuzugreifen, sodass die Eigenschaften der unteren Schichten nicht ins Gewicht fallen. Des Weiteren ist auf der Transportschicht die Implementierung verbindungsorientierter oder verbindungsloser Protokolle beschrieben. Letztere sind für zeitkritische Audio- und Videoanwendungen von besonderer Bedeutung.¹³

Schicht 5 – Kommunikations-/Sitzungsschicht Hier werden Datenströme angefordert, aufgebaut und kontrolliert. Die Sitzungsschicht stellt Dienste für eine korrekte

10 SCHÜRMANN, 2004: S. 222

11 SCHREINER, 2007: S. 5

12 RIGGERT, 2012: S. 30

13 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0301201.htm> [Stand: 21.11.2013]

Synchronisation und einem korrektem Dialogablauf zwischen zwei Kommunikationsteilnehmern zur Verfügung. Dadurch werden Zusammenbrüche von Sitzungen vermieden.

Schicht 6 – Darstellungsschicht Für den korrekten Austausch von Daten, werden auf der Darstellungsschicht standardisierte Kodierungs-, Konvertierungs- und Kompressionsverfahren angewendet. Auch wenn sich Darstellungsformate beteiligter Geräte unterscheiden, können Fehlinterpretationen durch Format-Anpassungsmechanismen vermieden werden.¹⁴

Schicht 7 – Anwendungsschicht Die Anwendungsschicht kommuniziert direkt mit der Software, die auf das Netzwerk zugreift und prüft, ob eine Verbindung möglich ist. Sie enthält Funktionen mit denen der Anwender auf das Kommunikationssystem zugreifen kann. Bekannte Dienste sind z.B. E-Mail oder das File Transfer Protocol.

2.2 Ethernet nach IEEE 802.3

Ethernet ist seit den 90ern einer der meist verbreiteten Netzwerkstandards und hat Mitbewerber wie Token Ring und Apple Talk verdrängt. Im OSI-Referenzmodell ist Ethernet auf der physikalischen Schicht und der Sicherungsschicht festgelegt. Teilnehmer in einem Ethernet-Netzwerk können mit sogenannten MAC-Adressen, einem global eindeutigen 48-Bit-Schlüssel, identifiziert werden. Mit Ethernet können verpackte Daten über ein LAN ausgetauscht werden. Die Technologie beruht auf dem Basisbandverfahren.¹⁵ Dadurch wird die volle Bandbreite genutzt, ohne dabei die Übertragungsfrequenz in einen anderen Bereich modulieren zu müssen.

Bis heute wurden auf Hardware- und Protokollebene zahlreiche neue Varianten des Ethernet-Standards entwickelt. Einzig der CSMA/CD-Algorithmus (siehe Kapitel 2.2.1) blieb über die Jahre bei allen Varianten weitestgehend gleich. Grund für die Weiterentwicklung ist der stetig wachsende Bedarf an Bandbreite, gerade für multimediale Anwendungen. Waren anfangs noch Übertragungsraten von 10Mbit/s das Maximum, sind heutzutage Geschwindigkeiten im Gigabit-Bereich alltäglich. Dafür wurde ein Klassifizierungsschema eingeführt, welches in der Praxis vorkommende Varianten beschreibt. Es enthält Informationen zur IEEE 802.3-Spezifikation welche die maximale Übertragungsrate, den verwendeten Kabeltyp und die maximale Leitungslänge definiert.

¹⁴ RIGGERT, 2012: S. 31

¹⁵ Es beschreibt die Übertragung eines Zeitsignals im gleichen Frequenzbereich, welcher das Zeitsignal als Frequenzspektrum aufweist.

Ethernettyp	Übertragungsrate	Kabeltyp	Leitungslänge
10BASE-T	10 Mbit/s	Twisted- Pair (min. Cat3)	max. 100 m
100BASE-T	100 Mbit/s	Twisted- Pair (min. Cat5)	max. 100 m
100BASE-FX	100 Mbit/s	Multimode- Glasfaser	max. 400 m
1000BASE-T	1000 Mbit/s	Twisted- Pair (min. Cat5e)	max. 100 m
1000BASE-SX	1000 Mbit/s	Multimode- Glasfaser	max. 550 m
1000BASE-LX	1000 Mbit/s	Multi- und Monomode Glasfaser	max. 5 Km
10GBASE-SR	10 Gbit/s	Multimode- Glasfaser	max. 300 m
10GBASE-LR	10 Gbit/s	Monomode- Glasfaser	max. 10 Km

Tabelle 1: In der Praxis vorkommende Varianten von Ethernet

2.2.1 CSMA/CD-Algorithmus

CSMA/CD¹⁶ ist das Zugriffsverfahren von Ethernet und wird nur in Netzwerken mit Hubs als Verbindungselement angewendet. Da sich Endgeräte in einem Netzwerk oft das Übertragungsmedium teilen, muss eine Möglichkeit geschaffen werden den Übertragungsvorgang zu steuern. Der CSMA/CD-Algorithmus gewährleistet allen Stationen zu jeder Zeit einen gleichberechtigten Zugriff auf das Netz, sodass Ethernet alle im Netzwerk befindlichen Signalleitungen als gemeinsames Übertragungsmedium ansieht. Da immer nur ein Netzwerkteilnehmer senden kann, überprüft CSMA/CD die Send- und Empfangsmöglichkeiten von Geräten, um Sendekonflikte zu vermeiden. Bei einer Überlagerung von Signalen würden diese unbrauchbar werden.

Kollisionen können vor dem Senden am Signalpegel erkannt werden. Dafür gibt es Netzwerkadapter, welche in solchen Fällen ein spezielles Signal an andere Teilnehmer senden und somit verhindern, dass weitere Daten gesendet werden. Damit vor dem Datenempfang ebenfalls keine Konflikte entstehen, wird ein Timer aus der bereits erwähnten MAC-Adresse berechnet und gesetzt. Dieses Verfahren gilt als zuverlässig, da eine MAC-Adresse weltweit eindeutig und fest in der Hardware verankert ist. Der Sender kann somit bei Datenverlust erneut senden.¹⁷

Im Gegensatz zu Netzwerken mit Hubs, können geschaltete Netzwerke Vollduplex, also in beide Richtungen gleichzeitig senden. Sie sind somit nicht auf den CSMA/CD-Algo-

¹⁶ Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

¹⁷ URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1406181.htm> [Stand: 6.12.2013]

rhythmus angewiesen, da keine Kollisionen entstehen können.¹⁸ Deshalb empfiehlt es sich gerade bei multimedialen Echtzeitanwendungen Switches als Kopplungselement in Netzwerke zu integrieren.

2.2.2 Aufbau des Ethernetframes

Ethernet ist ein Paket-vermittelndes Netzwerk. Die Daten werden in mehrere kleine Pakete aufgeteilt, welche als Frames oder Rahmen bezeichnet werden. Die Inhalte der Pakete sind bei der Übertragung unbedeutend. Für Ethernet existieren verschiedene Frame-Formate, welche sich in ihrem Aufbau unterscheiden, jedoch alle Gemeinsamkeiten mit der "klassischen" Frame-Struktur haben. Die klassische Struktur entspricht der heutzutage fast ausschließlich verwendeten Version 2 von Ethernet. Jedes Frame beginnt mit einer 7 Byte langen Präambel. Ein Frame beinhaltet außerdem die MAC-Adressen von Sender und Empfänger. Mittels eines 2 Byte großen Typenfeldes, wird auf Kommunikationsprotokolle der Schicht 3 verwiesen. Netzwerke die beispielsweise das TCP/IP-Protokoll verwenden, signalisieren, dass TCP-Frames als Nutzdaten transportiert werden. In einem Frame können maximal 1500 Bytes an Nutzdaten übertragen werden. Außerhalb der IEEE-Spezifikation kann die maximale Größe jedoch variiert werden, was aber nur in bestimmten Situationen sinnvoll ist und meistens zu einer Verschlechterung der Netzwerkperformance führt. Das Ethernet-Frame endet mit der 4 Byte langen Prüfsumme, welche Übertragungsfehler aufdeckt.

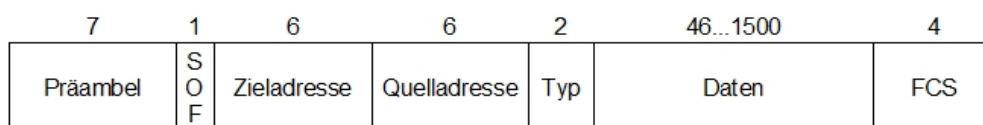


Abbildung 2: Aufbau des klassischen Ethernetframes¹⁹

¹⁸ RIGGERT, 2012: S. 77

¹⁹ URL: <http://www.easy-network.de/bilder/ethernet-frame.jpg> [Stand: 28.11.2013]

2.3 Internet Protocol

Das Internet Protocol²⁰ ist ein Standardprotokoll, welches auf der Vermittlungsschicht des OSI-Referenzmodells arbeitet. Auf dieser Schicht werden IP-Datenpakete zwischen Sender und Empfängerknoten versendet. Der Transport ist verbindungslos und ungesichert, sodass Pakete verloren gehen, dupliziert oder in falscher Reihenfolge übertragen werden können.²¹ Die Sicherung der Datenübertragung muss daher auf einer höheren Ebene durchgeführt werden. Ein IP-Paket besteht im Wesentlichen aus einem Header und einem nachfolgenden Datenblock, welcher wiederum im Ethernet-F-rame eingebettet ist. Für Ethernet sind Paketgrößen, wie bereits im Kapitel 2.2 erwähnt, auf 1500 Byte limitiert. Ein IP-Paket selbst kennt keine Obergrenze für seine Paketgröße, da es in der Lage ist, Pakete zu fragmentieren und wieder zusammenzusetzen. IP-Pakete werden fragmentiert, da sie innerhalb eines Systems verschiedene physikalische Netze mit unterschiedlichen zulässigen Paketgrößen durchlaufen. Gehen Fragmente beim Transport verloren muss das komplette Paket neu angefordert werden, was sich negativ auf die Netzwerkperformance auswirken kann. Deshalb muss ein IP-Paket mindestens 576 Byte groß sein.

Angeschlossene Netzwerkteilnehmer lassen sich mit der IP-Adresse und einer Subnetzmaske in logische Gruppen einteilen. Diese Subnetze bewirken, dass Teilnehmer innerhalb dieser Netze eindeutig adressiert werden können. Dabei enthält jedes IP-Paket die IP-Adresse des Senders und des Empfängers. IP-Adressen können innerhalb eines lokalen Netzwerks beliebig vergeben werden. Es gibt aber einige Adressen, welche bereits reserviert oder für den privaten Gebrauch spezifiziert sind, wobei auch öffentliche IP-Adressen für bestimmte Anwendungen reserviert sein können. Reservierte Adressen sind in RFC 1918²² spezifiziert.²³

Der Adressraum aktueller IP-Adressen besteht aus 32 Bits, welche in vier Gruppen zu je 8 Bit eingeteilt werden. Damit sind potentiell 4.294.967.296 Adressen darstellbar. Eine IP-Adresse wird in Netzkennung (Netzwerkadresse) und Stationskennung (Hostadresse) unterteilt. Die Netzmaske legt dabei fest, wie groß der Bitanteil der Netzkennung ist.²⁴ Demnach bestimmt sie, welche IP-Adressen das Gerät im eigenen Netz sucht und welche es über Router in anderen Netzen erreichen könnte. Neben der eben beschriebenen IPv4- Variante, spielt auch IPv6 eine zunehmende Rolle in Kommunika-

²⁰ Das Protokoll ist im RFC 791 beschrieben.

²¹ RIGGERT, 2012: S. 114

²² Die Request for Comments sind eine Reihe von technischen und organisatorischen Dokumenten zum Themengebiet Internet.

²³ URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc1918> [Stand: 27.11.2013]

²⁴ RIGGERT, 2002: S. 132

tionsnetzwerken. Allerdings stellt die neue Version den Netzwerktechniker vor neuen Herausforderungen. Reduzierte Sicherheitsfeatures, die Überbrückung von IPv6 nach IPv4-Netzen (6-nach-4Tunnel) und Filtermechanismen für bestimmte IPv6-Nachrichten bereiten Probleme, die es noch zu lösen gilt.²⁵ Aus diesem Grund wird IPv4 weiterhin eine tragende Rolle spielen.

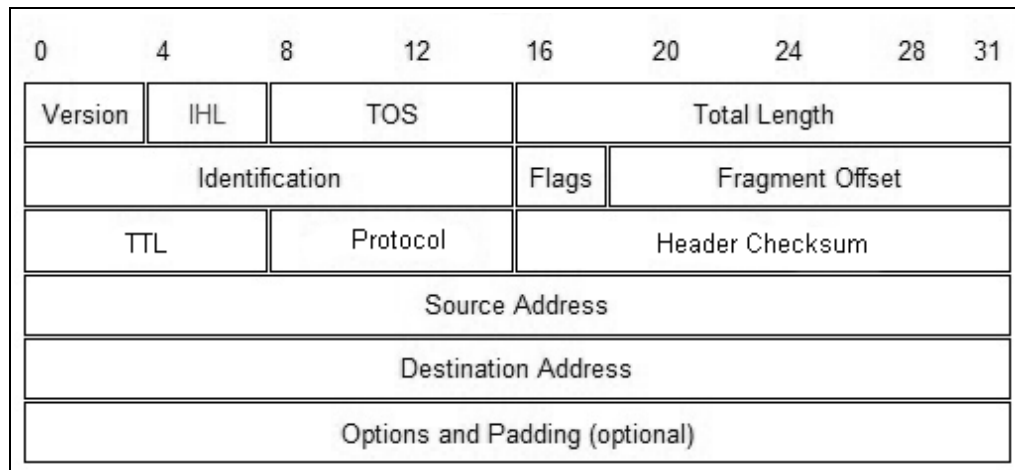


Abbildung 3: Aufbau eines IPv4-Headers²⁶

Die wichtigsten Felder des IPv4-Headers sind folgende:

- *Version*: Verwendete Version des IP-Protokolls
- *Total Length*: Länge des Datenpakets (maximal 64 KByte)
- *Fragment Offset*: Fragmentierte Blöcke werden logisch nummeriert um Lücken festzustellen.
- *TTL (Time-to-live)*: Ein Paket wird gelöscht, wenn es nach einer bestimmten Zeit immer noch nicht beim Empfänger angekommen ist.
- *Protocol*: Bestimmt das Protokoll auf der übergeordneten Schicht (z.B. UDP)
- *Source- und Destination Address*: Adresse von Sender und Empfänger

Für die Übertragung echtzeitsensitiver Audiodaten ist außerdem das Headerfeld Type of Service (ToS) bedeutend. Es besteht aus 8 Byte und enthält Informationen zur Priorisierung von Datenströmen. Die Precedence-Bits (Prioritäts-Bits) legen Klassen fest, in

²⁵ HARTPENCE, 2012: S. XIV

²⁶ URL: http://blog.icewolf.ch/images/blog_icewolf_ch/201006/IPv6_05.jpg [Stand: 28.11.2013]

welche Datenstreams kategorisiert werden. Die Felder Delay, Throughput, Reliability und Cost spezifizieren die Dienstgüte, welche ein Datenstrom erhalten soll. Das MBZ-Bit ist für zukünftige Zwecke reserviert und wird von IPv4 nicht genutzt.

Bits	3	1	1	1	1	1
	Precedence	Delay	Throughput	Reliability	Cost	MBZ
		0 - normal	0 - normal	0 - normal	0 - normal	
		1 - low	1 - high	1 - high	1 - low	

Abbildung 4: Das Headerfeld ToS²⁷

Bits	Bedeutung	Nutzung
000	Standard	Standardwert für regulären Datenverkehr
001	Priorität	Können individuell für spezielle Fälle genutzt werden
010	Sofort	
011	Flash	
100	Flash überschreiben	
101	Kritisch	Wird für Echtzeit-sensitiven Daten bei Audio over IP genutzt
110	Internetnetzwerkkontrolle	Sind für Netzwerkmanagement wie z.B. Routingprotokolle reserviert
111	Netzwerkkontrolle	

Tabelle 2: Datenstromklassifizierung durch die Precedence-Bits

Bits	Bedeutung
1000	Minimale Verzögerung
0100	Maximaler Durchsatz
0010	Maximale Zuverlässigkeit
0001	Minimale Kosten
0000	Normaler Dienst

Tabelle 3: Dienstgüte-Kategorien nach Type-of-Service

27 URL: http://www.rhyshaden.com/images/tcpip_k.gif [Stand:28.11.2013]

2.4 User Datagram Protocol

Das User Datagram Protocol²⁸ ist ein Kommunikationsmittel der vierten Schicht des OSI-Referenzmodells und vermittelt zwischen Applikationen auf unterschiedlichen Netzwerkknoten. UDP ermöglicht eine Übertragung der Pakete in bester Qualität, kann jedoch keinen ordnungsgemäßen Paketempfang garantieren. Somit bietet es im Gegensatz zum Transmission Control Protokoll²⁹ eine unzuverlässige, verbindungslose Datenübertragung. Pakete können verloren gehen und dupliziert oder in falscher Reihenfolge gesendet werden. Aus diesem Grund hängt die Leistungsfähigkeit eines Netzwerks stark von der Anwendung ab, welche auf UDP basiert, da jene in der Lage sein muss diese Probleme zu bewältigen. Der Vorteil von UDP ist die Schnelligkeit. UDP besitzt im Gegensatz zu TCP kaum Kontrollmechanismen, welche Verzögerungen bei der Übermittlung verursachen und somit die Übertragungsrate drosseln. UDP weist in etwa die dreifache Übertragungsgeschwindigkeit im Vergleich zu TCP auf.³⁰



Abbildung 5: Aufbau eines UDP-Headers³¹

Die angegebenen Headerfelder beinhalten folgende Informationen und Eigenschaften:

- Quell- und Ziel-Portnummer: Das sind die Nummern des sendenden und des empfangenden Ports.
- Länge: Die Größe des UDP-Segments in Byte einschließlich des UDP-Headers
- Checksumme/ Prüfsumme: Sie prüft das gesamte Segment auf der Grundlage des in IP verwendeten Algorithmus.

²⁸ Das Protokoll ist in RFC 768 beschrieben.

²⁹ Das Protokoll ist in RFC 675 und RFC 793 beschrieben.

³⁰ RIGGERT, 2012: S. 160

³¹ URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/bilder/08122812.gif> [Stand: 29.11.2013]

2.5 Real-Time Transport Protocol

Das Real-Time Transport Protocol ³² wird bevorzugt, in Verbindung mit UDP, in Echtzeit-sensitiven Systemen für die Übertragung digitalisierter Audio- und Videosignale genutzt. RTP beruht wie IP und UDP auf dem Best-Effort-Prinzip³³ und ermöglicht eine Übertragung mit niedrigen Laufzeitverzögerungen.³⁴ Das Protokoll gewährleistet keine rechtzeitige Zustellung von Paketen, da RTP keine einheitliche Interpretation der Semantik³⁵ anbietet. Jedes Paket beginnt zwar mit einem festen Header der Informationen enthält, jedoch weiß es nicht, wie verbleibende Felder und die Datenlast zu interpretieren sind. RTP stellt dafür zwei grundlegende Funktionen bereit, welche für den korrekten Empfang und die Wiedergabe der Mediendaten unerlässlich sind. Zum einen werden Pakete fortlaufend nummeriert, was dem Empfänger ermöglicht, Paketverlust oder eine falsche Zustellung der Pakete in ihrer Reihenfolge zu erkennen. Anhand der Nummerierung lässt sich auch erkennen, ob ein Paket bei der Übertragung verloren gegangen ist. Außerdem ist der Paketstrom mit einem Zeitstempel versehen, welcher Informationen zur Sendezeit einzelner Pakete enthält, mit dessen Hilfe der Empfänger die Wiedergabe steuern kann. Anhand der Zeitstempel können auch mehrere RTP-Streams synchronisiert werden.

RTP wird weltweit genutzt und von vielen Anwendungen unterstützt. Das Protokoll steuert viele Dateiformate und selbst einfache Mediaplayer können in den Stream eingebunden werden. Verwendete Nutzlastformate sind dabei in verschiedenen RFCs manifestiert.

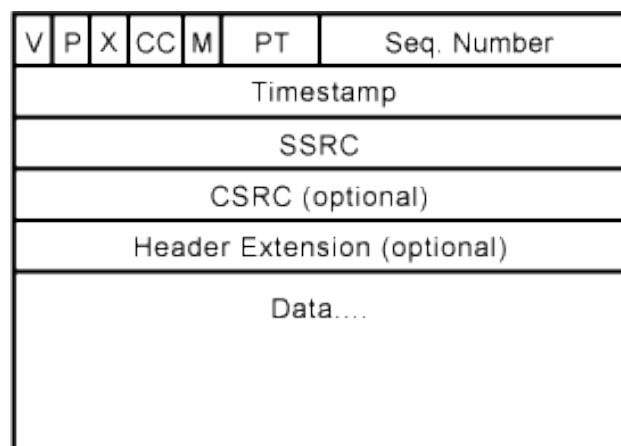


Abbildung 6: Aufbau eines RTP-Headers³⁶

³² RTP und verwandte Protokolle sind im RFC 3550 beschrieben.

³³ Best Effort ist eine minimalistische Dienstgüte- Zusicherung, indem versucht wird Datenpakete schnellstmöglich und im Rahmen der ihm zur Verfügung stehenden Ressourcen nach besten Möglichkeiten zu übertragen.

³⁴ DICKREITER, 2008: 1034

³⁵ Semantik ist in diesem Fall die Bedeutung der Zeichen, Symbolik oder Sprache innerhalb eines Streams.

³⁶ URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/bilder/11060711.gif> [Stand: 29.11.2013]

Die wichtigsten Bestandteile eines RTP-Headers:

- Version: Verwendete Version von RTP
- P: Legt fest, ob nach der Datenlast mit Nullen aufgefüllt wird
- PTYPE: Definiert das Nutzlastformat, von dem die Interpretation der meisten verbliebenen Felder abhängt
- M: Wird von Anwendungen genutzt, die bestimmte Stellen im Datenstrom kennzeichnen müssen, ist dabei aber abhängig vom Format der Datenlast
- Sequenz Number: Enthält die laufende Nummer für einen Stream, wobei die erste Sequenzzahl in einer Sitzung zufällig gewählt wird

Die Datenübertragung eines Netzwerks wird vom Real-Time Transport Control Protocol überwacht. Das mit RTP verwandte Protokoll ermöglicht es dem Sender und Empfänger gegenseitig Informationen über die Datenpakete und die Netzwerkinfrastruktur auszutauschen. Die RTCP-Nachrichten werden bei der Übertragung in UDP verkapselt und dabei an eine Protokoll-Portnummer gesendet, die eins höher als die zugehörige RTP-Portnummer ist. In Abhängigkeit verschiedener RTCP-Operationen enthalten versendete Nachrichten Informationen zum Anfang bzw. Ende eines Pakets oder der Sequenzquelle.³⁷

Die Streams zwischen Sender und Empfänger bzw. Server und Client werden vom Realtime Streaming Protocol gesteuert. Das rein textbasierte Protokoll, kann über UDP oder TCP übertragen werden und enthält keine Nutzdaten, lediglich Steuerbefehle.³⁸

2.6 Unicast, Multicast, Broadcast

Unicast, Multicast und Broadcast sind verschiedene Methoden der Datenübertragung. Bei Unicast werden Daten nur an einen Empfänger gesendet. Es besteht also lediglich eine Eins-zu-Eins-Verbindung zwischen dem Server und dem Client. Dabei greift Unicast auf IP-Zustellprotokolle wie TCP oder UDP zurück. Neben dieser Option lassen sich Daten auch an mehrere Empfänger verteilen. Sollen alle Adressen eines Netzwerks angesprochen werden, spricht man vom Broadcasting. Die Adressierung erfolgt dabei über eine Broadcast-Adresse, welche die höchste Adresse des jeweiligen Sub-

³⁷ URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt> [Stand: 6.12.2013]

³⁸ URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt> [Stand: 6.12.2013]

netzes ist. Das gleichzeitige Adressieren aller Teilnehmer kann ein Netzwerk allerdings erheblich belasten.

Multicast entspricht grundsätzlich der Broadcasting-Methode. Von einem Sender können IP-Datenströme an viele Teilnehmer ausgeliefert werden. Da das gleichzeitige Senden von Daten bei IP zu Überlastungen führen kann, wird nicht jeder Empfänger mit einem eigenen Datenstrom beliefert. Der Datenstrom wird vom Sender im Prinzip nur einmal gesendet. Er vervielfältigt sich nur in den Verzweigungspunkten, an dem die Multicast-Empfänger liegen.³⁹ Auf diese Weise wird die parallele Übertragung gleicher Pakete vermieden. Der Vorteil ist, dass beim Sender die erforderliche Bandbreite, bei steigender Zahl der Empfänger konstant bleibt. Die verfügbare Routing- und Transportkapazität wird besser genutzt, weshalb Multicasting für Multimediestreams in lokalen Netzwerken relevant ist.

Das Verfahren setzt in der Praxis jedoch voraus, dass dem gesamten Übertragungsweg eine Multicast-fähige Infrastruktur zugrunde liegt. Das Multicast-Verfahren muss in allen Routern aktiviert sein, da Multicast-Streams keine Zieladresse beinhalten und somit nicht unmittelbar geroutet werden. Multicast-Pakete lassen sich zwischen mehreren Netzen oder Subnetzen mit Hilfe von Multicast-Routingprotokollen verteilen. Dabei kommen vor allem tabellenbasierte Protokolle, wie das weit verbreitete Distance Vector Multicast Routing Protocol zum Einsatz.⁴⁰

Multicasting ist in öffentlichen Netzen, wie dem Internet, schwierig umzusetzen und nur über die IPv4-Erweiterung Multicast Backbone (MBONE) möglich. Hier werden Multicast-fähige Teilnetze zu „Inseln“ zusammengefasst.⁴¹ Dadurch können Multicast-Pakete in Unicast-Pakete eingekapselt und schließlich übertragen werden.

2.7 Netzwerkkomponenten

In einem Netzwerk gibt es eine Reihe von Netzwerkkomponenten zur Kopplung der Netzwerkstationen. Man unterscheidet zwischen aktiven und passiven Netzwerkkomponenten. Während aktive Netzwerkkomponenten eine eigene Logik haben, zählen die passiven Netzwerkkomponenten zur fest installierten Netzwerkinfrastruktur. Die beiden wichtigsten und für diese Arbeit am meisten relevanten Bestandteile eines Netzwerks werden im Folgenden beschrieben.

39 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1806041.htm> [Stand: 28.11.2013]

40 URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Distance_Vector_Multicast_Routing_Protocol [Stand: 28.11.2013]

41 URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Multicast_Backbone [Stand: 28.11.2013]

2.7.1 Switch

Der Switch ist eine zentrale Vermittlungseinheit auf Schicht 2 des OSI-Referenzmodells im lokalen Bereich eines Netzwerks. Er ist als eine Erweiterung der Bridge anzusehen und hat ältere Kopplungselemente wie Hubs oder Bridges abgelöst. Anhand von MAC-Adressen der Sender und Empfänger werden Datenpakete im Netz verteilt. Dabei erkennen Switches, ob es sich um eine Unicast-, Multicast- oder Broadcastadresse handelt. Die Weiterleitung beruht auf einer Adresstabelle, deren Inhalt durch einen Selbstlernprozess entsteht. Da gesammelte Inhalte nur an den beteiligten Stationen und nicht in anderen Netzteilen sichtbar sind, ermöglichen Switches eine bessere Datensicherheit als Hubs und Bridges. Durch Switches kann auch der Datendurchsatz in einem Netzwerk optimiert werden. Im Gegensatz zu Hubs, welche Datenpakete konsequent an alle Ports weiterleiten, können Ethernet-Frames mit Hilfe von Switches gezielt an einen Port gesendet werden. Des Weiteren erlauben sie, durch getrennte Behandlung der Zielports, Netzwerkteilnehmern eine eigene Kollisionsdomäne und ein eigenes Segment zu bilden, wenn diese direkt mit einem Switch verbunden sind.⁴² Dadurch entstehen bidirektionale Verbindungen mit der Möglichkeit Vollduplex zu übertragen. Da Ports voneinander getrennt sind, steigt die Bandbreite für jeden einzelnen Port sowie die Leistungsfähigkeit des Netzwerks. Es entstehen zwar viel mehr Kollisionsdomänen⁴³ als bei Bridges, gleichzeitig kann aber die Teilnehmerzahl pro Kollisionsdomäne verringert werden.⁴⁴ Werden Switches durch zu hohen Datenverkehr überfordert, gehen in der Regel Pakete verloren. Protokolle auf einer höheren Schicht können die Verluste durch Fehlerkorrekturmechanismen kompensieren (z.B. TCP). Das für Audio- und Videostreams verwendete UDP bietet allerdings keine Möglichkeit Pakete neu anzufordern. Deswegen sollten beim Streamen von Audio- und Videodaten ausreichend Netzwerkkressourcen zur Verfügung stehen.

Schicht-3-Switches kombinieren Eigenschaften von Switches und Routern. Es sind multifunktionale Geräte, die ihre Forwardingentscheidung bei der Paketweiterleitung sowohl auf Basis von MAC-Adressen als auch anhand von IP-Adressen treffen.⁴⁵ Neben den üblichen Funktionen eines Switches (Hardware-orientiert) und Routers (Software-orientiert) zeichnen einen Schicht-3-Switch verschiedene intelligente Dienste aus, welche sich positiv auf Streams auswirken können. Sie sind in der Lage virtuelle lokale

42 RIGGERT, 2012: S. 187

43 Eine Kollisionsdomäne umfasst alle Netzwerkgeräte, die gemeinsam um den Zugriff auf ein Übertragungsmedium konkurrieren.

44 RIGGERT, 2012: S. 188

45 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1405171.htm> [Stand: 30.11.2013]

Netze aufzubauen, IP-Multicast-Verkehr zuzulassen und Quality of Service-Parameter⁴⁶ zu berücksichtigen.⁴⁷

Vor allem VLANs können zu einer verbesserten Übertragungskapazität beitragen. Denn je größer ein Netzwerk ist, umso häufiger treten Sicherheitsprobleme oder Datenstaus in Form von sogenannten „Flaschenhälsen“ auf. VLANs erweisen sich hierbei als nützliche Werkzeuge zur Beseitigung der Probleme. Sie sind logisch gruppierte Partitionen einer Netzwerkinfrastruktur die mit Schicht-3-Switches realisiert werden können. Dabei werden Nutzer z.B. nach Arbeitsgruppe oder Organisation, unabhängig vom Standort im Netzwerk zusammengefasst. Aus diesem Grund können sich Partitionen über große Bereiche einer Netzwerkinfrastruktur erstrecken und Wege im Netz teilen. Die Gruppierungen nutzen die gleiche physikalische Infrastruktur dabei vollkommen unabhängig voneinander, wodurch die Sicherheit erhöht wird. VLANs verbessern zudem die Flexibilität und Übersicht beim Design von Netzwerken. Die Bildung virtueller LANs ist auch im AoIP-Bereich interessant. Hier kann eine Trennung des QoS-sensitiven Verkehrs und dem üblichen Datenverkehr vorgenommen werden, wodurch ein Netzwerk als zuverlässiger anzusehen ist.⁴⁸

Schicht-3-Switches enthalten außerdem Mechanismen zur Steuerung und Überwachung eines Streams. Besonders QoS ist für zeitkritische Audio- und Videoanwendungen interessant. Hier können anhand von Klassifizierungsschemata wichtige Daten im Netz priorisiert werden, um eine Übertragung ohne Datenstaus zu gewährleisten. IP-basierende Multimediasstreams, werden in LAN-Strukturen mittlerweile nicht mehr in Routern, sondern in Schicht-3-Switches verarbeitet. Diese haben gegenüber Routern den Vorteil, dass sie zum einen kostengünstiger und zum anderen wesentlich flexibler einsetzbar sind, da sie mehr Ports haben. Zudem gewährleistet ein Schicht-3-Switch einen höheren Datendurchsatz und erlaubt, aufgrund minimalistischer Buffergrößen, niedrigere Latenzzeiten als ein Router.

Switchingverfahren Switches auf Schicht 2 können nach unterschiedlichen Verfahren arbeiten. Situationsbedingt können sie verschiedene Betriebsmodi wählen, um den Transport von Ethernet-Frames effektiver zu gestalten. Dabei unterscheiden sich die Verfahren in der Art der Weiterleitung, der Portgeschwindigkeit und der Zwischenspei-

46 Quality of Service beschreibt die Dienstgüte einer Netzwerkinfrastruktur aus Sicht des Anwenders.

47 RIGGERT, 2002: S. 12

48 RIGGERT, 2012: S. 202-203

cherung von Paketen.⁴⁹ Cut-Through, Store-and-Forward und Fragment Free haben sich als Standard etabliert. Alle drei haben verschiedene Vorteile die im Folgenden näher erläutert werden.

Beim *Cut-Through*-Verfahren (Fast Forward) werden Ethernet-Frames analysiert, bevor sie vollständig eingetroffen sind. Anhand der Ziel-MAC-Adresse kann der Switch den Anfang des Frames bereits weiterleiten, während das Ende noch eingelesen wird. Die Latenz ist dadurch äußerst gering und auch größere Pakete stellen keine Probleme dar. Das Cut-Through-Verfahren verzichtet allerdings auf Fehlerüberprüfungsmethoden, sodass beschädigte Frames unerkannt bleiben und ebenfalls weitergeleitet werden.⁵⁰ Die Schnelligkeit dieses Verfahrens eignet sich besonders für zeitkritische Anwendungen. Da hier komplett auf Zwischenspeicherung verzichtet wird, funktioniert das Verfahren nur zwischen Ports gleicher Geschwindigkeit. Ein Datenstrom mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von 100 MBit/s kann nicht an einem 10 MBit/s Port verarbeitet werden.⁵¹

Das *Store-and-Forward*-Verfahren ist dagegen die langsamste Variante. Die ankommenden Pakete werden vom Switch vollständig in Empfang genommen und zwischengespeichert. Erst dann werden die Ethernet-Frames analysiert. Hier kommen Filtermechanismen zum Einsatz, um ein Ethernet-Frame auf die richtige Struktur (IEEE 802.1d) und die Richtigkeit der CRC-Prüfsumme (IEEE 802.3) zu überprüfen. Die Prüfsumme wird mit dem am Ende des Frames gespeicherten Wert verglichen. Stimmen beide Werte nicht überein, verwirft der Switch das komplette Frame, fordert es aber auch nicht neu an. Dadurch können nicht zustellbare Frames, welche das Netzwerk zusätzlich belasten würden, herausgefiltert werden. Stimmen beide Werte überein wird anschließend die Ziel-MAC-Adresse überprüft, um das Frame weiterleiten zu können. Befindet sich die Adresse jedoch nicht in der Tabelle, wird das Frame an alle Ports weitergeleitet (Broadcast).⁵² Der Nachteil dieses Verfahrens ist die für Switches verhältnismäßig hohe Latenzzeit. Auch wenn durch komplexe Analysemechanismen die Netzlast durch die Filterung fehlerhafter Frames reduziert wird, benötigt das Store-and-Forward-Verfahren grundsätzlich mehr Zeit zur Weiterleitung. Latenzen entstehen aber nur

49 RIGGERT, 2012: S. 190

50 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907141.htm> [Stand: 30.11.2013]

51 RIGGERT, 2012: S. 191

52 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907141.htm> [Stand: 30.11.2013]

dann, wenn es durch die Zwischenspeicherung zu Warteschlangen bei Ein- und Ausgangsports kommt.⁵³

Das dritte Verfahren nennt sich *Fragment Free* (Modified Cut-Through) und stellt einen Kompromiss der beiden anderen Methoden dar. Der Switch prüft vor der Weiterleitung die ersten 64 Byte eines Frames. Sind diese fehlerfrei, wechselt der Switch vom Store-and-Forward in den Cut-Through-Modus. Dieses Verfahren beruht auf Erfahrungswerten von Cisco-Mitarbeitern⁵⁴, welche festgestellt haben, dass Übertragungsfehler am häufigsten innerhalb der ersten 64 Byte eines Ethernet-Frames auftreten.⁵⁵ Ist ein Fehler vorhanden, dann wird das Frame bei Cut-Through verworfen. Wenn sich die Anzahl fehlerhafter Frames bei der weiteren Analyse wieder häuft, schaltet der Switch zurück in den Store-and-Forward Modus.

2.7.2 Router

Router arbeiten auf Schicht 3 des OSI-Referenzmodells und sind in der Lage mehrere Teilnetzwerke mit unterschiedlichen Architekturen und Protokollen, auf Grundlage von IP-Adressen, zu verbinden. Darum sind Router häufig an Grenzgebieten eines Netzwerks vorzufinden, um die Verbindung zu einem anderen Netzwerk herzustellen. Da Router Schicht-3-Protokolle interpretieren, sind sie z.B. in der Lage IP nach IPX (Schicht-3-Protokoll von Novell) umzusetzen, um somit eine Wegfindung der Pakete zu gewährleisten. Die Art der Interpretation erlaubt außerdem eine Konfiguration von sogenannten Zugriffslisten, zum Schutz gegen unberechtigten Zugriff.

Um ein IP-Paket weiterzuleiten muss zunächst die Zieladresse identifiziert werden. Da bei Routern keine Garantie besteht, dass sie die komplette Netzwerkstruktur kennen, sind sie auf Informationen von Nachbarroutern angewiesen, um Pakete gegebenenfalls über mehrere Subnetze verteilen zu können. Welcher Weg sich für ein IP-Paket am besten eignet wird anhand einer Routing-Tabelle entschieden. Hier werden Weginformationen gespeichert und Angaben zum optimalen Weg eines Pakets gemacht. Es handelt sich dabei um ein dynamisches Verfahren, welches in der Regel von speziellen Routing-Protokollen verwaltet wird. In kleineren Netzen kann ein statisches Routing auch ohne Routing-Protokolle realisiert werden. Erst nachdem die geeignetste Route gewählt wurde, wird eine Verbindung hergestellt und die Datenpakete an die Übertragungstechnik angepasst.

53 RIGGERT, 2012: S. 192

54 Cisco ist ein US-amerikanisches Unternehmen aus der Telekommunikationsbranche und vor allem für die Fertigung von Switches und Routern bekannt.

55 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907141.htm> [Stand: 30.11.2013]

Wenn Pakete an einem Router empfangen werden, wird anhand der Prüfsumme die Richtigkeit der Daten geprüft. Ist das Paket fehlerhaft, erhält der Absender eine Nachricht vom Router. Wenn die Daten unbeschädigt sind wird anschließend im IP-Header der TTL-Wert des Pakets um den Faktor 1 verringert. Ist dieser Wert bei 0 angekommen wird das Paket vollständig gelöscht, um zusätzliche Netzwerkbelastung durch nicht zustellbare Pakete zu vermeiden.⁵⁶

Dynamisches Routing Die Routing-Tabelle wird entweder manuell gefüllt (statisches Routing) oder dynamisch im Austausch mit benachbarten Routern gepflegt. Bei letzterem werden Routingprotokolle wie RIP, OSPF oder EGP/BGP eingesetzt. Die Aufgabe der Protokolle besteht zunächst darin, Routing-Informationen zwischen den Routern über angeschlossene und bekannte Teilnetze auszutauschen. Dadurch lernt jeder Router erreichbare Netze kennen und baut auf Basis der Informationen eine Routing-Tabelle auf, welche diese Informationen sammelt und weiter verteilt. Durch Routing-Algorithmen kann nun der bestmögliche Weg eines Pakets zum Ziel ermittelt werden. Die Wahl des Algorithmus hängt dabei vom Aufbau der Routing-Tabelle ab. Die am meisten vorkommenden Methoden sind der Link Status-Algorithmus und der Distance Vector-Algorithmus.

Beim *Link Status-Algorithmus* werden Informationen zu Routing-Änderungen per Multicast ausgetauscht. Deshalb ist in der Routing-Tabelle die gesamte Netzstruktur abgebildet, sodass jeder eingebundene Router alle Ecken des Netzwerks kennt. Anhand verschiedener Kriterien, wie Bandbreite, Verzögerung, Netzlast und Anzahl der Hops⁵⁷ auf dem Weg von Sender zu Empfänger, wird der effektivste Weg ausgemacht.⁵⁸

Die *Distance Vector-Methode* erlaubt lediglich den Informationsaustausch zwischen benachbarten Routern. Auch hier werden Routen anhand bestimmter Kriterien eingestuft, um letztendlich aus allen bekannten Routen die Beste auszuwählen. Da aber nur Informationen zu bestimmten Netzknoten vorliegen, muss der bestmögliche Weg an jeder Zwischenstation neu berechnet werden. Im Gegensatz zum Link Status-Algorithmus speichern Distance Vector-Protokolle nur die bestmöglichen Wege.⁵⁹

Statisches Routen Vor allem in kleinen Netzen wird statisches Routing eingesetzt. Hier führt jeder Router eine Tabelle, welche alle erreichbaren Stationen im Netzwerk kennt. Statisches Routing ist prinzipiell sehr einfach umzusetzen, die Wege müssen

⁵⁶ URL: <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz7.html#7.7> [Stand: 9.12.2013]

⁵⁷ Als Hops wird die Anzahl der Switches beschrieben, die ein Signal durchlaufen kann, ohne zu stark verzögert zu werden.

⁵⁸ URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0810101.htm> [Stand: 01.12.2013]

⁵⁹ ODOM, 2008: S. 318-320

aber manuell vom Administrator konfiguriert werden. Daher macht diese Methode bei komplexen Netzwerken, aufgrund eines extrem hohen Zeitaufwandes wenig Sinn. Tendenziell ermöglicht statisches Routing eine erhöhte Sicherheit bei der Übertragung von IP-Paketen, da diese den immer gleichen Weg zum Ziel haben.

Router bietet die Möglichkeit über den lokalen Bereich hinaus Pakete zu transportieren. Für AoIP-Anwendungen im Wide Area Network-Bereich sind Router nicht wegzudenken, da sie verschiedene Netzarchitekturen und Protokolle angleichen können. Aufgrund komplexer Überwachungs- und Filteralgorithmen und dem damit verbundenen Zwischenspeichern von Datenpaketen, ist die Latenzzeit bei Routern allerdings größer als bei Switches. Deshalb eignen sie sich nur bedingt für zeitkritische Anwendungen in LANs. Schicht-3-Switches stellen hier eine flexiblere und kostengünstigere Variante dar.

2.7.3 Medientypen

Übertragungsmedien spielen in der Netzwerktechnik eine große Rolle. Je nach Anwendungsgebiet können verschieden Arten von Kabeln verwendet werden, um bestmögliche Ergebnisse zu erzielen. Besonders wenn echtzeitsensitive Audiodaten auf IP-Basis übertragen werden, sind äußere Störeinflüsse, Widerstände, Dämpfungsgrade und die mechanische Belastbarkeit bei Kabeln wichtige Kriterien.

Sogenannte Twisted-Pair-Kabel aus Kupfer und Glasfaserkabel haben sich in der Praxis etabliert. Zu Anfangszeiten von Ethernet verwendete man häufig noch Koaxialkabel, welche jedoch aufgrund ihrer Inflexibilität und der geringen Übertragungskapazität nur noch selten eingesetzt werden.

Auch eine reibungslose Übertragung ohne Kabel macht für Audioanwendungen in Echtzeit noch wenig Sinn. Obwohl grundlegende Eigenschaften gegeben sind, entstehen bei WLAN-Architekturen zu viele Datenkollisionen und instabile Verbindungen. Extrem hohe Latenzzeiten und Paketverluste wären die Folge. Im Vergleich zu Kabelgebundenen Lösungen ist die Übertragungsrate bei WLAN eher gering. Deshalb wird dieser Weg im Folgenden auch nicht weiter beschrieben.

Twisted-Pair-Kabel Twisted-Pair-Kabel sind Kupferkabel mit einen oder mehreren verseilten Leitungspaaren. Sie sind der am meisten eingesetzte Kabeltyp im LAN. Die Twisted-Pair-Verkabelung zeichnet sich vor allem durch seine guten technischen Eigenschaften und einen günstigen Anschaffungspreis aus. Durch die Verseilung der Adernpaare kann elektromagnetischen Störeinflüssen entgegen gewirkt werden. Eben-

so werden Übersprecheffekte von benachbarten Adernpaaren innerhalb des Kabels reduziert. Aufgrund der Störeinflüsse sollten grundsätzlich Kabel mit Schirmung genutzt werden. Ein Gesamtschirm besteht in der Regel aus einer Folie und dem Drahtgeflecht. Ein Adernpaarschirm umgibt die Adern zusätzlich mit einer Folie. Je nachdem welche Schirmung vorhanden ist, lassen sich die Kabel nach UTP, STP und S/FTP unterscheiden.⁶⁰ Nachteile offenbaren Twisted-Pair-Kabel bei der Länge des Übertragungsweges, da die Dämpfungseigenschaften und Widerstände von Kupferkabeln nur begrenzte Strecken ohne Qualitätsverluste zulassen.

Twisted-Pair-Kabel sind genormt, um sie in ihrer Leistungsfähigkeit kategorisieren zu können. Dabei ist die Leistungsfähigkeit eines Kabels mit aufsteigender Zahl als besser zu bewerten. Während die Normung älterer Kategorien von der EIA/TIA 568 durchgeführt wurde, beinhalten Kategorien der ISO/IEC 11801 die Kabeltypen Cat5, Cat5e, Cat 6 und Cat 7. Während Cat5-Kabel der am häufigsten verlegte Kabeltyp ist, aber bestenfalls für Fast-Ethernet geeignet ist, sind Cat 7-Kabel zwar in ihrer Anschaffung teurer, können aber Bitraten bis zu 100 GBit/s ermöglichen. In der folgenden Tabelle sind gängige Kabeltypen mit ihren Eigenschaften und Anwendungsbereichen aufgelistet:

Kabeltyp	EIA/TIA 568	ISO/IEC 11801	Klasse	Max. Frequenz	Anwendung
UTP, S/FTP	Cat. 5	Cat. 5	Class D	100 MHz	100Base-TX, SONET, SOH
UTP, S/FTP	Cat. 5e	Cat. 5e	Class D	100 MHz	1GBase-T
UTP, S/FTP	Cat. 6	Cat. 6	Class E	250 MHz	1GBase-T, 155-MBit-ATM, 622-MBit-ATM
S/FTP	Cat. 6A	Cat. 6 _A	Class E _A	500 MHz	10GBase-T
S/FTP	-	Cat. 7	Class F	600 MHz	10GBase-T (bis 100 Meter)
S/FTP	-	Cat. 7 _A	Class F _A	1000 MHz	10GBase-T, 40GBase-T und 100GBase-T (eingeschränkt)

Tabelle 4: Genormte Twisted-Pair-Kabeltypen⁶¹

Glasfaser-Kabel Glasfaser bieten herausragende Eigenschaften beim Signaltransport in strukturierten Netzwerken. Hier werden Signale über Lichtwellenleiter, welche

60 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0603191.htm> [Stand: 9.12.2013]

61 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0603191.htm> [Stand: 9.12.2013]

aus Quarzglasfasern bestehen, zwischen Stationen übertragen.⁶² In den meisten Fällen wird monochromatisches Licht, also Licht mit einer Wellenlänge verwendet, welches von Lasern erzeugt wird. Da Licht als Medium dient, haben Glasfaserkabel keine Probleme mit elektromagnetischen Störeinflüssen. Des Weiteren können mit Glasfaserkabeln Entfernungen von mehreren Kilometern überbrückt werden, ohne dabei die Qualität der Signale einzubüßen. Je nach Faser sind Übertragungswege von bis zu 120 Kilometern möglich. Sie sind mit einer Übertragungskapazität von 10 Gbit/s sehr leistungsfähig und außerdem absolut abhörsicher.

Bei Glasfaserkabeln unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Profilen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Monomodefaser weisen den geringsten Dämpfungsgrad auf und können die größten Übertragungswege mit geringer Qualitätsbeeinträchtigung ermöglichen. Die Leistung der Glasfaserprofile lässt sich am sogenannten Bandbreiten-Längen-Produkt festmachen. Monomodefasern weisen ein Produkt von 100 GHz*km auf und sind somit auch für den WAN-Bereich geeignet. Dagegen liegt das Bandbreiten-Längen-Produkt bei Multimodefasern bei 1 GHz*km.⁶³ Somit erreichen Multimodefasern eine vergleichsweise geringe Übertragungsrate bei kürzerem Übertragungsweg. Grund ist die Brechung des Lichts im Faserkern und die daraus resultierende Ausbreitung des Lichts im „Zick-Zack-Lauf“. Multimode-Gradientenfasern stellen einen Kompromiss zwischen beiden Profilen dar. Hier breitet sich das Licht, aufgrund eines bestimmten Brechungsindex, sinusförmig aus.

Der größte Nachteil eines Glasfaserkabels ist die geringe mechanische Belastung. Signalwege können daher leicht unterbrochen werden.

62 FREYER, 2010: S.23

63 RIGGERT, 2012: S. 49-50

3 Grundlagen Audio over IP

Der rasante Wachstum der IT-Technologie hat in vielen Industriezweigen Einzug erhalten, sodass die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von Netzwerktechnologie praktisch überall gegeben ist. Vor allem das IP-Protokoll, welches das Herzstück des Internets ist, hat sich in lokalen Kommunikationsnetzen als gängiger Standard etabliert. Auch die professionelle Audioindustrie profitiert von dieser Entwicklung. Audio over IP hat sich in den vergangenen Jahren mehr und mehr als geeignetste Übertragungsmethode in Audionetzwerken bewährt. In Folge dessen stieg die Anzahl teilnehmender Hersteller und Rundfunksender. Im Vergleich zu analoger Audiotechnik und dem bisher für Rundfunkübertragung eingesetzten ISDN, konnten Kosten auf ein Minimum reduziert und die Güte der Übertragung maximiert werden.

Dass Audio over IP längst keine Theorie mehr ist verdeutlichen aktuelle Beispiele aus der Praxis.⁶⁴ Zunehmend mehr Audiogeräte-Hersteller beteiligen sich an die Implementierung entsprechender Technologien. Dadurch etablieren sich AoIP-Lösungen, wie DANTE und RAVENNA, immer mehr im professionellen Audibereich. Audio over IP eignet sich dabei gleichermaßen für Live,- Studio und Broadcastanwendungen, sowie sonstigen Festinstallationen.

3.1 Begriffsdefinition und Abgrenzung

Grundlegend bedeutet Audio over IP eine qualitativ hochwertige, paketbasierende Übertragung von Audiodaten. Dabei ist es möglich, mehrere hundert Kanäle verlustfrei, unkomprimiert und nahezu verzögerungsfrei zu übertragen. AoIP-Lösungen sind aber nicht als ein einzelnes Übertragungsprotokoll anzusehen. Vielmehr werden moderne Hardware und Software, welche auf offenen Standards der Netzwerktechnik basieren, vereint.

Fakt ist jedoch, dass seit dem Aufkommen von Audionetzwerken Ende der 90er, Audiodaten über IP zu transportieren zunächst als unvorstellbar galt. Betrachtet man abseits des professionellen Audibereichs IP-basierende Kommunikationsanwendungen, fällt auf, dass diese den hohen Anforderungen in der Audiotechnik nicht gerecht werden. Es gibt allerdings Unterschiede zwischen einem privaten, verwalteten IP-Netzwerk und einem öffentlichen, nicht verwalteten IP-Netzwerk, wie dem Internet. Erfahrungs-

⁶⁴ Anwendungsgebiete von RAVENNA und DANTE werden in den Kapiteln 4.7.2 und 5.7.2 aufgezeigt.

gemäß weiß man, dass bei Internetanwendungen, wie dem World Wide Web, eine qualitative Echtzeitübertragung oftmals nicht umgesetzt werden kann. Tatsächlich ist ein hochwertiger Transport von Audiodaten alleine mit dem IP-Protokoll nur schwer realisierbar. Wie bereits im Kapitel 2.3 erwähnt, handelt das Internet Protocol nach dem Best-Effort-Prinzip. Datenpakete können vertauscht werden, dupliziert werden und verloren gehen. Dies passiert nicht nur in Wide Area Networks, wie dem Internet, sondern kann auch im lokalen Bereich stattfinden. Somit werden unweigerlich hohe Latenzen und Qualitätseinbußen verursacht. Die Zerteilung der Pakete in Frames ermöglicht zwar eine effektive und kostengünstige Nutzung der Leitungswege, das System kann jedoch nicht versichern, dass Frames bei dem Empfänger zeitgleich ankommen und zusammengefügt werden. Es werden zusätzliche Protokolle benötigt, die eine zeitgleiche Übertragung mehrerer hundert Kanäle in hoher Qualität ermöglichen.

Im Internet werden mangelnde Sicherheitsfunktionen des IP-Protokolls vom Transmission Control Protocol ausgeglichen. Bestimmte Mechanismen ermöglichen eine sichere, geordnete Zustellung von Datenpaketen, registrieren verloren gegangene Pakete und können diese neu anfordern. Die Kontroll- und Überwachungsmechanismen des TCP-Protokolls verlangsamen allerdings den Datenfluss. Hohe Latenzen sind die Folge. Daher kommt TCP für AoIP-Anwendungen nicht in Frage. Es werden andere zusätzliche Protokolle benötigt. Diese „Grundbausteine“ einer auf IP basierenden Audio-netzwerklösung werden im Kapitel 3.3 genannt.

3.1.1 Unterschiede zu den Begriffen Audiostreaming und Voice over IP

Der Begriff Audio over IP wird des Öfteren in Einklang mit Audiostreaming und Voice over IP gebracht. Die Unterschiede sind jedoch enorm. Audiostreaming findet in erster Linie in öffentlichen Netzen, wie dem Internet, statt. Hohe Latenzen und Paketverluste sind charakteristisch für solche Streams. Durch den Einsatz verschiedener Codecs werden die Audiodaten stark komprimiert und büßen an Qualität ein. Während Audio over IP ein Paketformat verwendet, welches sich auf das Schicht-3-Protokoll IP stützt, wird bei Audiostreaming die Medieninformation direkt auf ein Schicht-2-Netzdienst wie ATM⁶⁵ übersetzt, ohne dabei Pakete zu verwenden.⁶⁶ Multimedia-Daten verkehren also

⁶⁵ ATM ist ein Kommunikationsprotokoll der Schicht 2, welches sich für die Übertragung von Daten, Sprache und Video eignet.

⁶⁶ RIGGERT, 2002: S. 119

in einem Streamformat und keinem Paketformat. Die vergleichsweise geringe Qualität der Streams ist für die meisten Anwendungen aber vollkommen ausreichend.

Die Eigenschaften von VoIP lassen sich am besten am Beispiel der Internettelefonie ausmachen. Priorität hat hier die Übertragung der Pakete in Echtzeit. Die Qualität spielt eine untergeordnete Rolle. Bei Internettelefonie werden beispielsweise speziell entwickelte Protokolle und Codecs eingesetzt, welche das Audiomaterial stark komprimieren. Als „Vorbild“ dient hier das analoge Telefonsystem, welches Frequenzen von 300 Hz bis 3,4 kHz überträgt und somit eine relativ geringe Bandbreite von 3,1kHz aufweist.

3.2 Problem der Interoperabilität

Mit dem Begriff Audio over IP werden mehrere Lösungen für eine Netzwerk-basierende Audioübertragung in Verbindung gebracht. Ein einheitlicher Rahmen, welcher für die Umsetzung einer solchen Lösung Gültigkeit hat, fehlt bislang. Auch wenn entwickelte Technologien teilweise bzw. komplett auf offenen Standards beruhen, gibt es dennoch entscheidende Unterschiede zwischen Audionetzwerklösungen, sodass keine Kompatibilität untereinander ermöglicht werden kann.

Dem Fehlen eines Standards auf IP-Basis versuchte die European Broadcasting Union entgegenzuwirken. Am 8. September 2007 wurde von der Projektgruppe N/ACIP der EBU mit mehreren Audioherstellern und Rundfunksendern die Vereinbarung über einen gemeinsamen Standard für AoIP im Rundfunkbereich getroffen. Im Rahmen dieser Gruppe entstanden die Dokumente EBU-Tech 3326 und EBU-Tech 3329. EBU-Tech 3326 ist dabei die technische Spezifikation, die den internationalen Standard für Audioübertragungen über IP darstellt.⁶⁷ Ziel ist es eine weitflächige Interoperabilität zu gewährleisten, indem eine auf offenen Standards basierende Lösung angeboten wurde. Die Umsetzung der Technologie namens Audio Contribution over IP (ACIP) ist für teilnehmende Hersteller allerdings optional.

Dass sich bis heute kein Standard für Audio over IP etablieren konnte hat mehrere Gründe. Zum einen ist die Idee, Audiodaten über IP-Netze zu transportieren, noch relativ jung. Livewire von der Firma Axia, eine der ersten Lösungen für AoIP, wurde 2003 veröffentlicht. Der Markt musste zu dieser Zeit erst von einer IP-basierenden Lösung

67 URL: <http://www.irt.de/webarchiv/showdoc.php?z=NDQwOCMxMDA2MDE2MTEjcGRm> [Stand: 6.1.2014]

überzeugt werden. Im Zuge der stetigen Weiterentwicklung von Netzwerktechnologien und Standards wurden neue AoIP-Lösungen auf den Markt eingeführt.

Neben der zeitlichen Differenz sind aber kommerzielle Interessen der Hauptgrund einer fehlenden Interoperabilität. Als problematisch werden sogenannte „Blackbox“-Modelle einiger Hersteller angesehen. Der Begriff bedeutet, dass Produkte nicht als offener Standard angeboten werden, sondern mit einer Lizenzvergabe verbunden sind. Nur ausgewählte Hersteller haben dadurch einen Zugriff auf die Technologie. Trotzdem können auch proprietäre Technologien weit verbreitet sein.

In erster Linie soll das Produkt Profit erzeugen und für eigene Zwecke verwendet werden, wie z.B. Q-LAN von QSC Audio Products, welches nur in herstellereigene Geräte implementiert wird. Unterschiedliche Vorstellungen für den Vertrieb des Produkts führen zu verschiedenen Businessmodellen. Die Inkompatibilität kann auch technologisch bedingt sein. AoIP-Lösungen können sich in Parametern wie Synchronisation, Nutzlastformate und Datenübertragung unterscheiden. Je nach Technologie kommen andere Anwendungsgebiete in Frage. Die Problematik fasst der Senior Product Manager der ALC NetworX GmbH Andreas Hildebrand in einem Artikel des Onlinemagazins PSNE treffend zusammen:

„There are, and always will be, application areas where you can potentially apply one or the other technology.“⁶⁸

übersetzt:

„Es wird immer Anwendungsgebiete geben, für welche die eine oder die andere Technologie eingesetzt werden kann.“

Die Wahl der Technologie hängt demzufolge auch vom Anwendungsgebiet ab, da jeweils andere Forderungen an eine AoIP-Lösung gestellt werden. Eigenschaften der Audionetzwerke können sich auch überschneiden, sodass für eine Anwendung mehrere Lösungen in Frage kommen. Inwiefern DANTE und RAVENNA gleichermaßen den Anforderungen für den Live-, Studio-, und Broadcastbetrieb gerecht werden, wird in den Kapiteln 4.7 und 5.7 diskutiert.

68 URL: <http://content.yudu.com/A1zlfj/PSNENov2012/resources/14.htm> [Stand: 6.1.2014]

3.3 Grundbausteine von Audio over IP

Jede Audionetzwerklösung ist technisch anders aufgebaut. Demnach kann keine allgemeingültige Aussage zum Grundgerüst eines Audio over IP-Systems getroffen werden. Gemeinsamkeiten lassen sich dennoch feststellen, da immer eine qualitativ hochwertige Echtzeitübertragung für Audiosignale erzielt werden soll. Daraus ergeben sich grundlegende Eigenschaften, die mit bestimmten offenen Standards aber auch proprietärer Technologie umgesetzt werden können.

3.3.1 Kompatibilität

Da Audio over IP in öffentlichen Netzen wie dem Internet aufgrund heterogener Strukturen nicht umsetzbar ist, wird eine kontrollierte LAN-Umgebung benötigt. Heutzutage bildet ausschließlich Ethernet nach IEEE 802.11 die Grundlage für die Übertragung in lokalen Netzen. Der Datenverkehr kann bei AoIP über bereits bestehende Netzwerkinfrastrukturen laufen, solange die IP-basierende Protokolle wie UDP und RTP verwendet werden. Sie sind in der Regel ein Garant für erhöhte Kompatibilität zu vorhandener Infrastruktur, denn bei rein Ethernet-basierter Technologie ist dies nicht möglich. Ist ausreichend Bandbreite vorhanden, können auf dem gleichen Netzwerk sogar andere IP-basierende Dienste parallel genutzt werden. Dabei handeln IP-basierende Lösungen unabhängig von der Art der Infrastruktur. Es können, sowohl Fast Ethernet, als auch Gigabit-Ethernet verwendet werden. Für die meisten Anwendungen empfiehlt es sich aber Gigabit-Netzwerke zu nutzen, um Latenzen so gering wie möglich zu halten.

3.3.2 Flexibilität

Durch hohe Flexibilität kann eine Netzwerkinfrastruktur mit leichten Mitteln schnell neu konfiguriert oder erweitert werden, um sie neuen Erfordernissen anzupassen. Vorteilhaft ist, dass AoIP-Lösungen wie DANTE und RAVENNA Unicast- und Multicaststreams unterstützen. Zudem können verschiedenste Anwendungen durch den Support vieler Datei- und Nutzlastformate ins Netzwerk eingebunden werden. Dadurch ist es möglich, selbst einfache Media Player in den Stream zu integrieren. Ein gutes Beispiel hierfür ist der kostenlos erhältliche VLC-Player, welcher Audio- und Videostreams in verschiedenen Formaten via RTP ermöglicht. Mehrere gängige Samplingfrequenzen und Bitraten werden je nach Einsatzgebiet ausgewählt. Zusätzlich erlaubt AoIP das gleichzeitige Streamen unterschiedlicher Abtastfrequenzen. Spezielle Synchronisationsprotokolle sorgen dabei für eine präzise Taktung (siehe Kapitel 3.3.5).

AoIP-Netzwerke lassen sich strukturiert aufbauen. Sie unterliegen keiner bestimmten Topologie, sondern können nahezu beliebig erweitert werden. So können AoIP-Netzwerke auch als vermaschte Netze aufgebaut sein, was in der Praxis aber selten vorkommt. Da jedes Gerät miteinander verbunden wird, steigt die Komplexität des Netzwerks mit der Anzahl zu verbindender Netzwerkknoten. Im lokalen Bereich ist eine Sternstruktur mit einem zentralen Switch als Kopplungselement weitaus wahrscheinlicher.

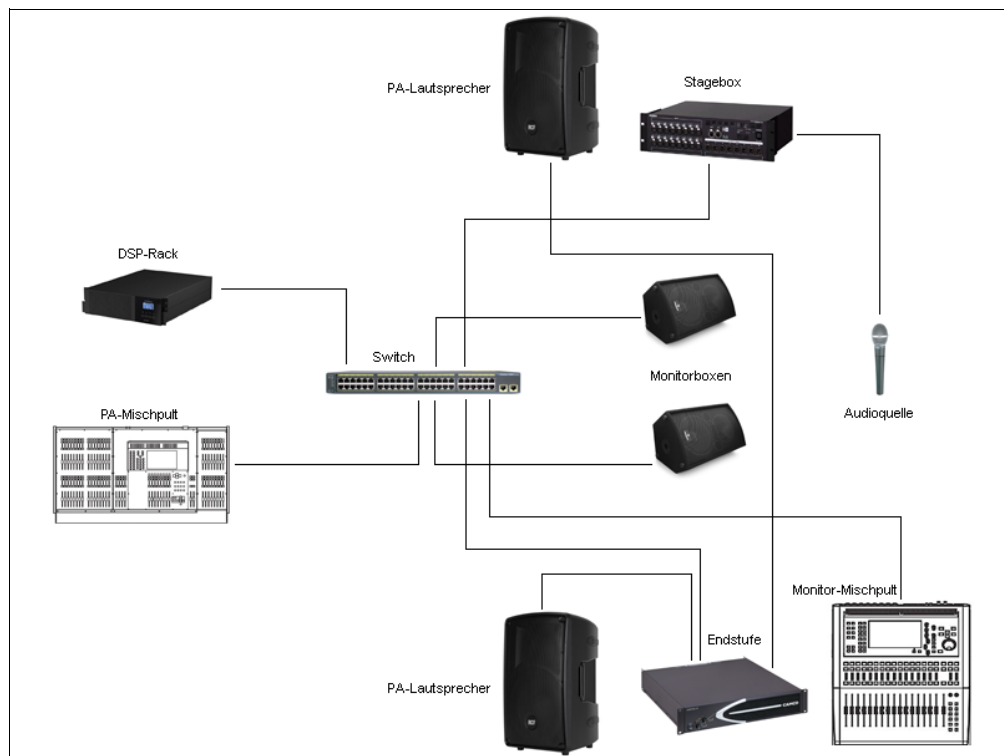


Abbildung 7: Mögliche Beschallungssituation mit AoIP als Sternstruktur

3.3.3 Skalierbarkeit

IP-unterstützende Router und Schicht-3-Switches ermöglichen eine Datenübertragung über den lokalen Bereich hinaus. Da z.B. bei DANTE und RAVENNA alle Protokolle IP-basierend sind, können Router genutzt und Wide Area Network-Verbindungen hergestellt werden.

Die Leistungsfähigkeit skaliert dabei mit der darunter liegenden Infrastruktur, denn IP ist nicht an den Transport auf der physikalischen Schicht gebunden (siehe 3.3.1). Je mehr Bandbreite also zur Verfügung steht, desto höher ist die Anzahl übertragbarer Kanäle beziehungsweise die Übertragungsgeschwindigkeit. Theoretisch ergibt sich dabei eine unbegrenzte Anzahl übertragbarer Kanäle in bidirektionaler Richtung. Die ma-

ximale Kanalanzahl wird durch mangelnde Ressourcen einer Netzwerkinfrastruktur oder einer kanalabhängigen Lizenzvergabe des Herstellers begrenzt.

3.3.4 Komfort

Audiosysteme verlangen nach einer zeitsparenden Installation. Einfaches und schnelles Konfigurieren kann bei Audio over IP durch verschiedene Protokolle und Dienste realisiert werden, welche Gerätenamen in einem Netzwerk in IP-Adressen übersetzen. Die gewonnenen Informationen können anschließend an den nächsten Rechner weitergegeben werden. Häufig verwendete Protokolle sind das DHCP oder DNS. Um Verbindungen zum Stream aufzubauen und zu verwalten werden hauptsächlich offene Protokolle wie SIP, SDP oder RTSP genutzt, welche mit dem RTP-Protokoll in ständigem Informationsaustausch sind.⁶⁹

SDP (Session Description Protocol) dient dazu, Multimedia-Sitzungen zu beschreiben. Während SIP bei Voice over IP zur Anwendung kommt, tritt SDP vor allem in Verbindung mit RTP-Streams auf. Dadurch eignet es sich vorrangig für den AoIP-Bereich. SDP kennt die Standorte der Geräte im Netzwerk und prüft ihre Verfügbarkeit. Des Weiteren liefert das Protokoll Informationen zur Sitzung. Anhand der Beschreibung kann eine Sitzung angekündigt werden, Teilnehmer eingeladen oder auf andere Weise eine Verbindung initiiert werden.⁷⁰ Die Mechanismen können bis zur automatischen Geräteerkennung und Konfiguration ausgebaut werden. Die als „True Plug & Play“ bezeichnete Dienstleistung kann mit Zero Configuration Networking-Protokollen, wie Bonjour realisiert werden.^{71 72} Diese 2002 von der Firma „Apple“ ins Leben gerufene Protokollsammlung ist sowohl für Mac OS X, als auch für Windows und Linux erhältlich.

3.3.5 Stabilität und Sicherheit

Weitere auf IP-basierende Netzwerkdienste können die Performance eines Netzwerks verbessern. Durch die Aushandlung von Quality of Service-Parametern ist es möglich, mit Hilfe von Netzdiensten, Pakete besser zu priorisieren, ähnlich dem Type of Service-Feld im IP-Header (siehe Kapitel 2.3). Standardmäßig enthält das ToS-Feld Informationen zur Dienstgüte eines Streams. Ein für Audio over IP-Anwendungen deutlich besser geeigneter Ansatz ist das Differentiated Service-Verfahren (DiffServ), welches von der

69 URL: http://audio-via-ip.com/downloads/mayah_ip_compendium_de.pdf [Stand: 7.1.2014]

70 URL: http://audio-via-ip.com/downloads/mayah_ip_compendium_de.pdf [Stand: 7.1.2014]

71 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1706061.htm> [Stand: 7.1.2014]

72 Audinate, Audio Networks Past an Future: S. 6

IETF in RFC 2457 beschrieben ist. Bei Verwendung des Verfahrens wird im Dienstgütefeld das Tos-Feld in DS-Byte umbenannt und darüber IP-Dienste abgebildet. IP-Pakete werden bei dem Eintritt in ein Netz einer Klasse zugeordnet und dann anhand vorgegebener Regeln gemäß ihrer Serviceklasse behandelt.⁷³ DiffServ ist für fast alle Hersteller im Netzwerkbereich Standard bei der Festlegung von Quality of Service-Parametern. Alle Datenströme können unabhängig von der Art des Transportprotokolls priorisiert transportiert werden. Diese Art der Vermeidung von Datenstaus ist aber nur sinnvoll, wenn ein Netzwerk zu circa 80 oder 90 Prozent ausgelastet ist. Ist es zu 20 Prozent ausgelastet, wird kein QoS benötigt. Ist das Netzwerk dagegen überlastet, hilft auch kein QoS mehr. Weitere Mechanismen, wie Ressourcenreservierung, dienen ebenfalls der Verbesserung des Datendurchsatzes wichtiger Mediendaten, funktionieren aber nicht auf IP-Basis. Diese in der Audio Video Bridging-Technologie vorkommenden Dienste werden im Kapitel 5.8 beschrieben.

AoIP-Netze zeichnen sich durch präzise getaktete Streams aus. Während im World Wide Web oder für PC-Uhren das Network Time Protocol für die Synchronisation verantwortlich ist, kommt bei AoIP das IEEE 1588 Precision Time Protocol zur Anwendung. Ursprünglich stammt es aus dem Bereich der industriellen Kontroll- und Messtechnik und kann in bestimmten Fällen Nanosekunden-genaue Synchronisation erreichen, ohne dabei hohe Anforderungen an Netzwerkressourcen zu stellen.⁷⁴ ⁷⁵ PTP handelt nach dem Master-/Slave-Prinzip. Durch den Best Master Clock-Algorithmus (BMC) wird das Gerät im Netzwerk ausgesucht, welches die Rolle des Masters beim takten einnimmt. Alle anderen Punkte im Netz sind Slaves und synchronisieren ihren Takt mit der Masterclock. Der Ablauf einer Synchronisation lässt sich in zwei parallel laufende Schritte teilen. Die erste Operation passt die Geschwindigkeit des Slavestaktes der Geschwindigkeit der Masterclock an. Gleichzeitig bestimmt eine zweite Operation die zeitliche Differenz, dem sogenannten Offset, zwischen Slave- und Masterclock. Die gemessene Verzögerung wird folglich angeglichen.⁷⁶

PTP ist in zwei Versionen verfügbar. Die neue Version IEEE 1588-2008 ist nicht kompatibel zur ersten Version IEEE 1588-2002, da jeweils unterschiedliche Benachrichtigungsformate verwendet werden. Auch wenn zwischen beiden Versionen Kompatibilität ermöglichen werden soll, ist davon auszugehen, dass IEEE 1588-2002 bald nicht mehr relevant ist. IEEE 1588-2008 bietet mehr Funktionen und ist variabler einsetzbar.

73 URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc4566> [Stand:6.1.2014]

74 URL: <http://www.it-portal.org/netzwerk/maschen/topomasch.gif> [Stand: 6.1.2014]

75 WEIBEL, The Second Edition of the High Precision Clock Synchronization Protocol: S.1

76 WEIBEL, The Second Edition of the High Precision Clock Synchronization Protocol: S.3

Neu ist, dass neben Multicastadressen nun auch an Unicastadressen gesendet werden kann. Außerdem stehen neue Varianten bei der Art der Taktung und der Redundanz zur Verfügung. PTPv2 funktioniert nun auch mit UDP/IPv6 über IEEE 802.3, während die alte Version lediglich IPv4 unterstützt hat.^{77,78}

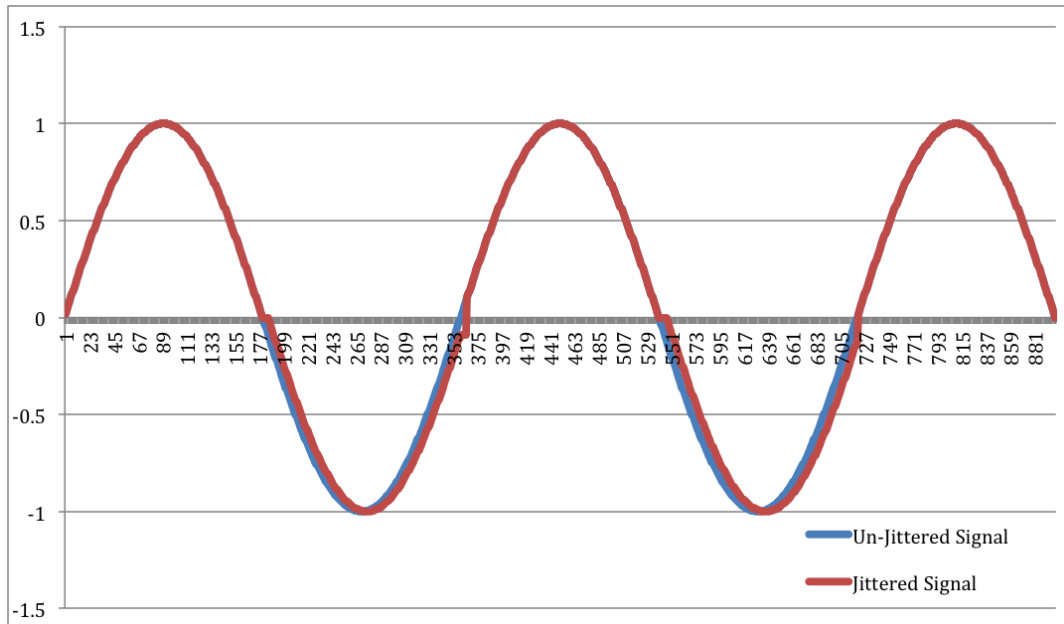


Abbildung 8: Beispiel einer extrem „zitternden“ Sinuskurve ⁷⁹

PTP in Verbindung mit RTP vermeidet für IP-Netzwerk typische Jittereffekte.⁸⁰ Das sind „Zitter- oder Schwankungseffekte“, die bei asynchroner Übertragung auftreten. Je größer die Abweichung zum Mittelwert einer Latenzzeit ist, desto wahrscheinlicher treten Jittereffekte auf, welche im Audiosignal als hörbare Artefakte negativ auffallen. Komplexe AoIP-Netzwerke verlangen nach einer möglichst verzögerungsfreien Übertragung. Außerdem muss sichergestellt werden, dass Datenpakete bei Sender und Empfänger zeitgleich ankommen und ausgespielt werden. In Empfängergeräten muss ein Zeitbuffer implementiert sein, welcher Datenpakete bis zu ihrer Wiedergabezeit zwischenspeichert. Ist die Wartezeit zu hoch aber der Buffer zu klein, werden Daten vor ihrer Wiedergabezeit ausgespielt. Es folgen Datenverluste und Jittereffekte. Ist der Buffer zu groß, sind Systeme gegen Jitter immun, weisen allerdings hohe Latenzen auf, da die Datenpakete vergleichsweise lang in dem Zwischenspeicher verweilen.⁸¹ Synchro-

77 WEIBEL, The Second Edition of the High Precision Clock Synchronization Protocol: S.7

78 Eine vollständige Liste aller Neuerungen von PTPv2:
http://www.ines.zhaw.ch/fileadmin/user_upload/engineering/_Institute_und_Zentren/INES/Downloads/Technology_Update_IEEE1588_v2.pdf [Stand: 10.1.2014]

79 AUDINATE, The Principles of Digital Audio: S. 34

80 COMER, 2003: S. 506

81 COMER, 2003: S. 507

nisationsprotokolle wie IEEE 1588-2008, gewährleisten jedoch eine präzise Synchronisation. Hohe Playbackpuffer werden somit vermieden.

Geräte mit unterschiedlicher Taktung können in Clock Domains eingeteilt werden. Multiple Clock Domains können sehr sinnvoll sein, um zwei oder mehrere Subnetze voneinander getrennt zu takten. Dadurch können mehrere Anwendungen mit unterschiedlicher Abtastrate gleichzeitig gestreamt werden.

3.3.6 Geringe Kosten

Neben den technischen Vorteilen ist langfristig gesehen von einem Kostenvorteil auszugehen. Alle Komponenten, die für den Aufbau einer Infrastruktur gebraucht werden, sind vergleichsweise kostengünstig, weil sie in sehr hohen Stückzahlen gefertigt werden. Die Verwendung handelsüblicher Switches, Router und Kabel ermöglicht somit eine deutliche Kostensenkung gegenüber analoger oder anderer digitaler Technik. Sie werden nicht, wie herkömmliche Kreuzschienensysteme, ausschließlich für die hochqualitative Audioübertragung gebaut, sondern sind in allen Datennetzwerken dieser Welt mit hohen Leistungskapazitäten verfügbar.⁸² Das gleiche gilt für den Bereich der Pflege und des Betriebs solcher Netzwerke. Schon heute werden die bestehenden Netzwerke gewartet. Dadurch kann der Installationsaufwand, im Vergleich zu einer eigenen Infrastruktur gesenkt werden.

3.3.7 Hardware

In der Regel wird die Wahl der Hardware vom Anwendungsgebiet bestimmt. Wie in den meisten Anwendungsfällen eignen sich DSP-basierende Codecs auch für Audio over IP. Es ist davon auszugehen, dass sie wesentlich zuverlässiger als PC Systeme arbeiten.

3.4 Vorteile gegenüber Ethernet-basierten Lösungen

Auch heute noch setzen kommerzielle Anbieter von Audioübertragungs-Lösungen auf Ethernet-Basis nur zum Teil auf offene Standards. Solche, als Audio over Ethernet bezeichneten Systeme nutzen kein IP-Protokoll zur Datenübertragung. Sie sind speziell

82 URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf [Stand: 6.1.2014]

für den Transport von unkomprimiertem Audiomaterial optimiert und eignen sich für Anwendungen, welche hohe Anforderungen an Zuverlässigkeit und Latenzen stellen.

Hier stellt sich folgende Frage:

Inwiefern profitiert eine Audiodatenübertragung von IP-Netzwerken und Protokollen im Gegensatz zu einem rein Ethernet-basierten Transport?

Unterschiede lassen sich direkt an Beispielen ausmachen. Zwei der prominentesten Vertreter von Audio over Ethernet (AoE) sind CobraNet und EtherSound. *CobraNet*, ein von Cirrus Logic entwickelter Standard aus dem Jahr 1996, gilt als die erste erfolgreiche Implementierung von AoE. Positiv fällt zunächst auf, dass über die Jahre viele Hersteller CobraNet-Hardware⁸³ in Form von Interface-Karten, Stageboxen, Mischpulten und digitalen Lautsprechern auf den Markt gebracht haben. CobraNet basiert auf einer Ethernet-typischen Sternstruktur und kann problemlos mit handelsüblichen Switches betrieben werden.

Obwohl CobraNet und andere AoE-Systeme neue Maßstäbe bei Audionetzwerken gesetzt haben, werden sie mittlerweile von AoIP-Lösungen ersetzt. Insgesamt ist eine Ethernet-basierte Lösung weniger flexibel und skalierbar als AoIP-Systeme. Mit CobraNet ist es zwar möglich, existierende LANs zu nutzen und anderen Datenverkehr parallel zu den Audiodaten zu übertragen. Dennoch rät der Hersteller, aufgrund wahrscheinlicher Performance-Einbrüche davon ab. IP-Dienste und Protokolle können nicht genutzt werden. Zudem handelt es sich bei CobraNet um eine proprietäre Lösung. Hier gibt es einen Lizenzgeber, der für die Implementierung eine, meist kanalabhängige, Lizenz verlangt.

CobraNet ermöglicht eine gleichzeitige Übertragung von 64*64 Audiokanälen über ein Ethernetkabel, bei Sampleraten bis zu 96 kHz und Wortbreite von 24 Bit. Im Vergleich dazu bietet z.B. DANTE von Audinate bei 96kHz Abtastrate und einer Bitrate von 24-Bit maximal 512 Kanäle bidirektional in einem Gigabitnetzwerk an. Dass CobraNet bis heute keine Unterstützung für 1Gbit/S-Netzwerke anbietet, macht sich hier deutlich bemerkbar.

Das Fehlen der IP-basierenden Protokolle wirkt sich auch auf die Größe der Latenzzeit aus. Diese wird durch große Buffer verursacht, welche bei steigender Anzahl an Switchhops hohe Zeitverzögerungen verursachen. Sind zwei Hops in einem CobraNet-

⁸³ Eine vollständige Liste aller Cobranet-Geräte: URL: <http://www.cirrus.com/en/products/cobranet.html> [Stand: 8.1.2014]

Netzwerk verbaut, beträgt die Latenz 1.33 ms. Maximal können sechs Hops in einem Netzwerk überbrückt werden. Dabei entsteht eine Verzögerung von 256 Samples, also ca. 5 ms.⁸⁴ Zusätzliche A/D-D/A-Wandlung erhöht die Latenz. Zwar nimmt das menschliche Ohr erst ab ca. 20 ms Verzögerungen als Echos wahr, doch auch darunter liegende Latenzen können z.B. beim Monitoring auf Konzerten oder im Studio unangenehm auffallen. Für komplexe Anwendungen im Live- und Studiobereich eignet sich CobraNet daher nur bedingt.

Ein weiterer großer Nachteil von AoE ist die unmögliche Implementierung in bestehende IP-Infrastrukturen. Kommen Schicht-3-Switches und Router im Netzwerk zum Einsatz, werden Ethernet-Pakete nicht weitergeleitet. Reine AoIP-Systeme sind dagegen auf der Netzwerkschicht vollkommen transparent und können problemlos in bestehende IP-Netzwerke mit ausreichend Kapazität integriert werden. CobraNets Technologie dagegen ist proprietär und baut nur teilweise auf offene Standards.

EtherSound ist eine von Digigram entwickelte Audio over Ethernet-Lösung aus dem Jahr 2001. Das System gilt als die modernere AoE-Lösung und wartet im Vergleich zu CobraNet mit besseren technischen Eigenschaften auf. 512*512 Kanäle sind gleichzeitig übertragbar. Die Latenzen bewegen sich im Mikrosekundenbereich. Eine bidirektionale Übertragung kann aber nur durch zwei getrennte Ethernetverbindungen ermöglicht werden. Außerdem müssen redundante Wege geschaffen werden, um Netzausfälle kompensieren zu können. Es gibt kein EtherSound-Gerät auf dem Markt, welches eine sogenannte Dual Network Interface Card (Dual NIC)⁸⁵ besitzt. Im Gegensatz zu AoIP duldet EtherSound keinen zusätzlichen Datenverkehr auf der Leitung.



Abbildung 9: Vereinfachte Daisy-Chain-Anordnung im Livebereich

⁸⁴ Audinate, Audio Networks Past an Future: S. 4

⁸⁵ Eine Dual Network Interface Card verbindet zwei Netzwerkadapter auf einer Interfacekarte. Über beide Leitungen läuft identischer Datenverkehr. Fällt eine Leitung aus, kann auf der anderen Leitung der Stream weiterlaufen.

Das System handelt komplett autark und ermöglicht dadurch zwar eine sehr zuverlässige Datenübertragung; diese Inflexibilität von EtherSound verweigert jedoch anderen Datenverkehr und lässt sich nicht in vorhandene Strukturen einbinden.

Des Weiteren baut EtherSound auf einer Daisy-Chain-Topologie auf, welche maßgeblich dazu beiträgt, dass EtherSound unflexibel im Aufbau ist. Anders als CobraNet verfügt EtherSound über eine Gigabitlösung. Diese hat sich jedoch bisher kaum auf dem Markt verbreiten können und ist nicht zu Fast Ethernet-Netzen abwärtskompatibel.

Andreas Hildebrand hat in seinem Vortrag „Networked Audio: Aktuelle Entwicklungen & Technologische Perspektiven für den Broadcast-Markt“, auf der Tonmeistertagung im November 2010 die grundlegenden Vorteile von Audio over IP gegenüber anderen Lösungen beschrieben. Die in Abbildung 10 zu sehende Tabelle veranschaulicht den Vergleich unterschiedlicher Audionetzwerke anhand von Kriterien, die für den Betrieb eines Broadcaststudios zu erfüllen sind.

	A-Net	EtherSound	CobraNet	Livewire
Layer	1	2a	2b	3
Topology	P-t-P (Star)	Daisy Chain	Structured	Structured
Routable	No	No	No	No
Network equipment	Cat 5	Ethernet	Ethernet	LAN
Shared network	No	No	(yes)	Yes
Scalable	No (64 ch)	No (64 ch)	No (64 ch)	Yes (32767 ch)
Latency	Low (800 µs)	Very low (125 µs)	Medium (1.3 ~ 5.3 ms)	Medium (> 1 ms)
Sample rates	1 common	48 / 96 kHz	48 / 96 kHz	48 kHz (fixed)
Data format	24 bit	24 bit	16 / 20 / 24 bit	24 bit
Redundancy	No	Ring	STP	STP
PC support	No	PCI card	PCI card	Virtual / PCI
Transport protocol	Proprietary	Proprietary	Proprietary	RTP
Open Standard	No	No	No	No

Abbildung 10: Audionetzwerke im technischen Vergleich⁸⁶

Neben CobraNet und EtherSound, ist ebenfalls A-Net, eine auf Schicht 1 beruhende Lösung aufgelistet. Deutlich wird, dass auf Schicht 1 oder Schicht 2 basierende Lösungen vor allem in ihrer Flexibilität und Skalierbarkeit Mängel aufweisen. Die Vorteile des Routing anhand von IP-Adressen wird hier offenbar. Dass solche Netzwerklösungen

86 URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf [Stand: 10.1.2014]

nur teilweise auf standardisierte Protokolle zurückgreifen können, wird ebenfalls verdeutlicht. Livewire von der Firma Axia dagegen ist eine Audio over IP-Lösung. Der tabellarische Vergleich zeigt die Vorteile von Livewire gegenüber den anderen Technologien. Die technischen Eigenschaften von DANTE und RAVENNA werden in den folgenden zwei Kapiteln betrachtet.

4 RAVENNA

4.1 Allgemein

RAVENNA ist eine rein auf IP basierende Netzwerklösung zur Audioübertragung in echtzeitsensitiven Anwendungsbereichen. Die Technologie wurde von der ALC NetworX GmbH aus München entwickelt und am 10. September 2010 veröffentlicht. RAVENNA nutzt ausschließlich öffentlich zugängliche Netzwerkstandards. Die Hersteller sind überzeugt, dass sich nur ein offenes System und keine proprietäre Lösung als Standard für Audio over IP etablieren kann.

4.1.1 Die ALC NetworX GmbH

Die in München ansässige ALC NetworX GmbH wurde im Oktober 2007 gegründet und ist im professionellen Audio- und Broadcastmarkt tätig. Der Schwerpunkt liegt im Bereich Consulting und Entwicklung von Netzwerk-basierten Lösungen für die Echtzeit-Verteilung von multimedialen Daten. Der Hersteller nimmt aktiv an der AES-Standards-Arbeitsgruppe SC-02-12-H, sowie verwandten EBU Arbeitsgruppen teil, um an einer interoperablen und qualitativ hochwertigen Lösung im AoIP-Bereich zu arbeiten. Ergebnis der Arbeitsgruppe ist AES67, ein frei zugängliches Konzept für eine Audio over IP-Lösung, welche sich als Standard etablieren soll. Da bei der Entwicklung von AES67 und RAVENNA das gleiche Ziel verfolgt wurde, sind beide Lösungen ausnahmslos kompatibel zueinander.



Abbildung 11: Das Signet der Firma ALC NetworX GmbH

4.1.2 Einordnung ins OSI-Referenzmodell

RAVENNA baut auf dem Internet Protocol auf und verwendet ausschließlich IP-basierende Protokolle. Demzufolge ist die AoIP-Lösung auf der Vermittlungsschicht des OSI-Referenzmodells anzusiedeln. Einige der verwendeten Protokolle, wie UDP und RTP arbeiten auf der Transport- bzw. Sitzungsschicht, weshalb der Aufgabenbereich eines RAVENNA-Systems auch höheren Schichten zuzuordnen ist.

4.1.3 Basiskomponenten

Zur Realisierung eines qualitativen Audiostreams nutzt die RAVENNA-Technologie offene Standards. Alle verwendeten Protokolle sind IP-basierend, weshalb eine Übertragung bei RAVENNA unabhängig vom zugrundeliegenden Netzwerk erfolgt. Die verwendeten Protokolle, Mechanismen und Netzwerkdienste lassen sich in Aufgabenbereiche unterteilen, welche in Tabelle 5 grob zusammengefasst sind. In den Kapiteln 4.2 bis 4.6 werden diese näher beschrieben.

Aufgabe, Anwendung	Protokoll, Mechanismus, Netzwerkdienst
Zeitsynchronisation	Precision Time Protocol Version 2 (PTPv2; IEEE 1588-2008)
Datenübertragung	Realtime Transport Protocol (RTP) Realtime Transport Control Protocol (RTCP) User Datagram Protocol (UDP)
Verbindungsaufbau und -management	Session Description Protocol (SDP) Realtime Transport Streaming Protocol (RTSP) Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) Domain Name System (DNS) Domain Name System Service Text (DNS-SD) Zero Configuration Networking (Bonjour)
Geräte-Konfiguration	Hypertext Transfer Protocol (HTTP)
Quality of Service	Differentiated Services (DiffServ)

Tabelle 5: Die Basiskomponenten der RAVENNA-Technologie

4.2 Verwendung des Internet Protocol

4.2.1 Infrastruktur

Die Infrastruktur von RAVENNA basiert rein auf dem Internet Protocol. Die Übertragung verläuft demnach unabhängig vom zugrundeliegenden Netzwerk. Für RAVENNA spielt es keine Rolle, ob eine Fast Ethernet- oder eine Gigabit-Leitung verwendet wird. Letztendlich entscheidet der Hersteller eines RAVENNA-Geräts, wie viel Bandbreite er für eine Anwendung benötigt. An Randknoten eines Netzwerkes (z.B. ein Mikrofon) ist es legitim Fast Ethernet zu nutzen, da hier nur wenige Streams entstehen. Bei Punkten einer Infrastruktur, an denen Streams zusammengeführt werden, sollten Gigabit-basierende Netzwerkstrukturen vorhanden sein, um eine Vielzahl an gleichzeitigen Streams realisieren zu können. Die Latenz wird dadurch so gering wie möglich gehalten.

Im Gegensatz zu Schicht 1- und 2-Lösungen, kann RAVENNA in vorhandene Netzwerkinfrastrukturen eingebunden werden. Sonstiger Datenverkehr kann parallel zu den Multimediadaten transportiert werden. Hilfreich sind hier vor allem Quality of Service-Mechanismen wie Differentiated Services, welche Datenpakete im Netzwerk klassifizieren. Wichtige Multimediadaten können dadurch dem sonstigen Datenverkehr vorgezogen werden (siehe Kapitel 4.6).

Wenn für RAVENNA ein bereits existierendes Netzwerk genutzt wird, muss es in der Lage sein IP-Pakete zu transportieren. Bestimmte standardisierte Netzwerkprotokolle sollten unterstützt werden. Demnach sollte eine zugrundeliegende Netzwerkinfrastruktur mindestens IP,UDP,TCP,IGMP (Internet Group Message Protocol)⁸⁷ und ICMP (Internet Control Message Protocol)⁸⁸ aus der IP-Protokollfamilie, sowie Ethernet unterstützen können.⁸⁹ IGMP ermöglicht IP-Multicasting, während ICMP die Basis für den Informationsaustausch zwischen den Protokollen IP,TCP und UDP darstellt. Dadurch können mögliche Fehlerquellen aufgedeckt werden, um die Übertragungsqualität zu steigern.⁹⁰

Da alle verwendeten Protokolle IP-basierend sind, kann ein RAVENNA-Netz sowohl mit Switches, als auch mit Routern und Schicht-3-Switches aufgebaut werden. Somit können neben dem lokalen Bereich, RAVENNA-Streams auch in Wide Area Networks

87 IGMP ist im RFC 3376 definiert.

88 ICMP ist im RFC 792 definiert.

89 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

90 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0901011.htm> [Stand: 14.1.2014]

stattfinden. Das Routing erfolgt dabei anhand von IPv4-Adressen. Vor allem im WAN-Bereich ist es wichtig und üblich, dass Media-Streaming-Anwendungen in geschlossenen IPv4-Netzwerken stattfinden. RAVENNA-Anwendungen über offene und un spezifizierte Netzwerke, wie dem Internet, zu realisieren wird nicht funktionieren.⁹¹ IPv6 kann in einer fortgeschritteneren Version von RAVENNA unterstützt werden, ist derzeit aber noch nicht in Planung.

4.2.2 Kanalanzahl

RAVENNA verfolgt das Ziel sich als offener Standard im Audibereich zu etablieren. Demzufolge werden keine Kanal-abhängigen Lizenzen an Partnerfirmen verteilt, so dass die Anzahl verwendbarer Kanäle in erster Linie von der Leistungsfähigkeit zugrundeliegender Netzwerkinfrastrukturen abhängt (siehe Kapitel 3.3.3). Je mehr Bandbreite zu Verfügung steht, um so mehr Kanäle können verwaltet werden. Die Anzahl der Kanäle variiert demnach von eins, bis zu einer bestimmten leistungsbezogenen Grenze. In Netzwerken mit viel Verkehr sollte die Bandbreite aber nicht mehr als zu 80% ausgelastet werden.⁹²

Für die maximale Anzahl an Kanälen muss überprüft werden, wie viele Pakete in ein Gigabit reinpassen. Die Anzahl der Pakete hängt von deren Formatierung ab. Je nach Anwendung können entweder viele Pakete mit wenigen Samples oder wenige Pakete mit vielen Samples sinnvoll sein. Zudem spielt die Größe der transportierten Nutzlast eine Rolle, welche im Normalfall pro IP-Paket maximal 576 Byte betragen kann. Letztendlich entscheidet der Hersteller, welche Kanalanzahl ein RAVENNA-Gerät maximal verwalten soll.

4.2.3 Dateiformate

Der Datentransport von RAVENNA basiert auf RTP/RTCP, sodass jede Art von Format in RTP-Paketen transportiert werden kann. Die meisten RAVENNA-Geräte unterstützen die üblichen Datenformate, die im professionellen Audibereich vorkommen. Für Audioanwendungen Samplingtiefen von 16, 24 und 32-Bit vorgesehen, wobei bei Letzterem das Originalaudiosignal unverändert bleibt. Demnach ist mit RAVENNA ein vollständig Bit-transparenter Transport der Audiosignale möglich. Des Weiteren werden die Abtastraten 32 kHz, 44.1 kHz, 48 kHz, 96 kHz und 192 kHz unterstützt. Die Media-

91 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

92 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

clock⁹³ eines Geräts generiert sich unabhängig von jeglichem Datenverkehr im Netzwerk. Demnach können auf dem gleichen Netzwerk verschiedene Datenformate gleichzeitig existieren, solange sie sich auf unterschiedlichen Streams befinden. Pro Stream kann ein Datenformat existieren. Das Realtime Transport Protocol, welches sich für die Datenübertragung verantwortlich zeichnet, unterstützt neben den relevanten Dateiformaten noch weitere hochauflösende Formate wie DSD, DXD oder Dolby E. Der RAVENNA-Partner Merging Technologies nutzt das DXD-Formatformat z.B. für Recordingsysteme der eigenen Marken Horus und Pyramix.⁹⁴ Das Format weist eine Bittiefe von 32 Bit und eine Abtastfrequenz von 384 kHz auf.

Die Wahl unterstützter Datenformate hängt von der Nachfrage der Partnerfirmen ab. Deswegen können bei RAVENNA auch immer wieder neue Formate unterstützt werden. Prinzipiell ist auch die Unterstützung von Codec-Formaten möglich, solange das System davon nicht negativ beeinträchtigt wird.⁹⁵

4.2.4 Redundanz

RAVENNA nimmt an, dass die Paketzustellung im zugrundeliegenden Netzwerk relativ zuverlässig ist und nur gering in der Verzögerung schwankt. Das System schützt nicht automatisch vor Paketverlust, sodass einmal verlorenen Pakete als spürbare Ausfälle vernommen werden können.⁹⁶ Abhilfe schafft hier eine redundante Technologie, welche in Notsituationen eingesetzt wird. RAVENNA-Geräte besitzen sogenannte Dual Network Interface Cards, also zwei eigenständige Netzwerkadapter, welche unabhängig voneinander den gleichen Datenstrom versenden bzw. empfangen.

Wird ein existierendes Netzwerk genutzt, muss ebenso ein zweites, unabhängiges Netz vorhanden sein, um redundante Wege zu ermöglichen. Vor dem Einsatz von RAVENNA sollte, von Seiten des Benutzers sichergestellt sein, dass das zugrundeliegende Netzwerk ausreichend Ressourcen für die geplante Aufgabe bereitstellt. Wenn zu wenig Bandbreite bereitgestellt ist, kann es zu Problemen bei der Umsetzung eines redundanten Systems kommen. Das öffentlich zugängliche Internet ist z.B. zu unzuverlässig, um ein befriedigenden Ergebnis mit RAVENNA zu erzielen. Die Verwendung zuverlässiger, in sich geschlossener Netzwerke, ist sowohl auf lokaler Ebene, als auch

93 Die Mediaclock eines Geräts hält über die lokale Uhr eines Geräts Kontakt zur Masterclock, um Mediendaten am Sender bzw. Empfänger zeitlich steuern zu können.

94 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

95 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

96 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

im WAN-Bereich vorzuziehen, um größere Qualitätsschwankungen zu vermeiden. Besonders bei Wegen, welche nur über eine Verbindung erreichbar sind und gleichzeitig einen großen Anteil an der Funktionstüchtigkeit eines Netzwerks haben, sind redundante Wege sinnvoll.

4.3 Synchronisation (PTP)

Die genaue Synchronisation aller in einem Netzwerk eingebundenen Geräte, ist im professionellen Audiobereich besonders wichtig, um einen gemeinsamen Betrieb zu ermöglichen. In RAVENNA-Systemen ist das Precision Time Protocol PTPv2 (IEEE 1588-2008)⁹⁷ für die Zeitsynchronisation verantwortlich. Die Arbeitsweise des PTPv2 lässt sich in zwei Operationsschritte einteilen (siehe Kapitel 4.3.1 und 4.3.2).

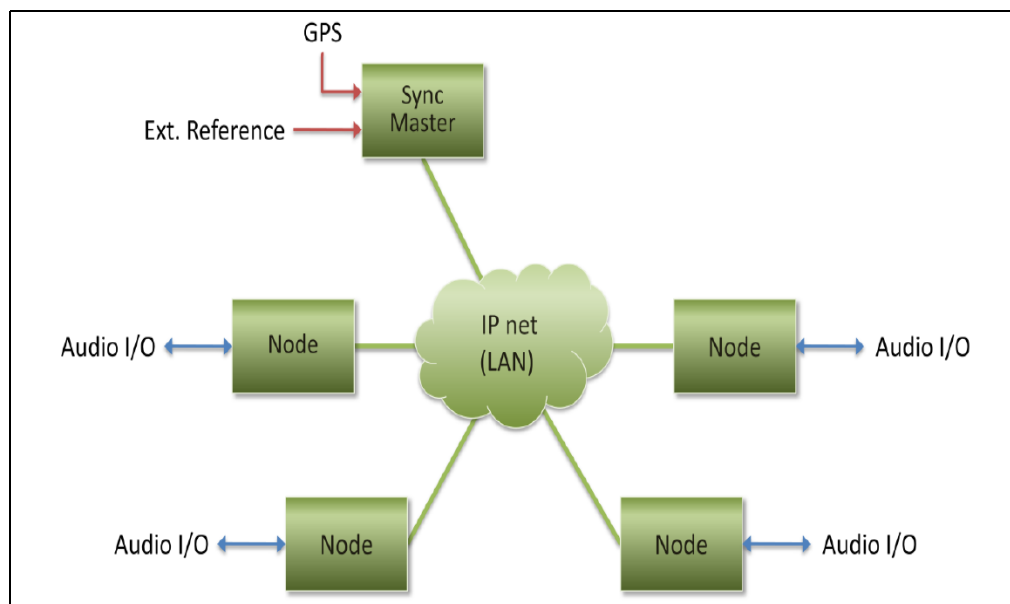


Abbildung 12: Verteilung der Masterclock mit PTPv2⁹⁸

PTPv2 ermöglicht in bestimmten Fällen phasengenaue Synchronisation. Voraussetzung ist, dass die Präzision der Zeitverteilung durch PTPv2, der AES11-Norm entspricht.⁹⁹ Die erreichbare Genauigkeit der Zeitverteilung beträgt bis zu 25 Nanosekunden. In der Regel ist Einhaltung der Norm vor allem in kleinen Netzwerken mit wenig Datenverkehr möglich. Für komplexe Netzwerke werden PTP-fähige Switches als

⁹⁷ In der aktuellen 1.0-Version von RAVENNA ist nur PTPv2 als zulässige Synchronisationsquelle festgelegt. Weitere mögliche Synchronisationsquellen können laut Hersteller in einer fortgeschrittenen Version von RAVENNA enthalten sein.

⁹⁸ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 14.11.2013]

⁹⁹ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

Kopplungselemente benötigt. PTP-Switches untersuchen PTP-Pakete nach ihrer Etherframe-Kennung, um die verbreitete Zeit verarbeiten zu können. Anschließend wird der Offset zwischen der lokalen Zeit und der absoluten Zeit des Mastertakts abgeglichen. Die Korrektur wird anschließend wieder an das PTP-Protokoll geschickt.¹⁰⁰ Komplexe Netzwerke können somit ebenfalls präzise synchronisiert werden. Normale Switches behandeln PTP-Pakete wie ein normales IP-Paket und leiten es nach Quality of Service-Kriterien weiter. Kann eine zugrundeliegende Netzwerkstruktur PTPv2 nicht im vollen Maße unterstützen, wird RAVENNA die Synchronisationsgenauigkeit des Protokolls reduzieren, um trotzdem eine Verbindung aufbauen zu können.¹⁰¹

IEEE 1588-2008 liegt als Hardware-unterstützte Variante und als reine Software in RAVENNA-Systemen vor. Bei der Hardware-unterstützten Variante werden PTP-Pakete an der Netzwerkinterface eines Geräts mit einem Zeitstempel versehen. Der Ausspielzeitpunkt des Pakets wird auf MAC-Ebene oder auf der physikalischen Ebene „gestempelt“.¹⁰² Mit dieser Zeit als Referenzpunkt, kann der Empfänger die entsprechende lokale Zeit wieder aufnehmen. Diese Variante erlaubt eine sehr genaue Synchronisation und wird ausnahmslos in RAVENNA-Interfacekarten verwendet. Die eigentliche Berechnung findet zwar auf Software-Ebene statt, hat aber keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Synchronisation. Die rein softwarebasierende Methode hat den Nachteil, dass die Zeitstempel ebenfalls auf Software-Ebene vergeben werden. Hier entsteht zusätzlicher Software-Jitter, welcher eine Synchronisation im samplegenauen Bereich nicht mehr ermöglicht.

4.3.1 Verbreitung des Mastertakts (Operation 1)

Das Protokoll handelt nach einem Master-Slave-Prinzip. Ein Mastertakt sendet in regelmäßigen Schritten eine absolute Zeit an alle in einem RAVENNA-Netzwerk befindlichen Geräte, welche sich anschließend mit dem Mastertakt synchronisieren. Die Quelle der Synchronisation kann ein externes Signal, wie das Global Positioning System sein. Diese Methode eignet sich vor allem bei WAN-Verbindungen. Die zweite Möglichkeit besteht darin, mit einem Best Master Clock-Algorithmus ein RAVENNA-Gerät im Netzwerk auszuwählen, welches sich am besten als Synchronisationsquelle eignet. In bestimmten Zeitintervallen teilt das Protokoll einem Mastertakt-fähigen Client mit, ob er das Gerät mit den besten Clocking-Eigenschaften ist. Durch diese Methode lässt sich

¹⁰⁰ Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

¹⁰¹ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL:

http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹⁰² Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

der Ausfall eines Mastertaktes kompensieren. Der BMC-Algorithmus wird nicht von RAVENNA kontrolliert, sondern ist eine inharänte Funktion des Protokolls. RAVENNA-Geräte sollten den Slavebetrieb unterstützen. Die Implementierung des Masterbetriebs ist optional.¹⁰³

Technologie-bedingt können in IP-Netzwerken Jitter auftreten, sodass minimale Abweichungen zur Masterclock entstehen. Wie in Kapitel 3.3.5 beschrieben werden dafür Jitterbuffer (Playbackbuffer) eingesetzt, welche zeitliche Abweichungen an Empfängerpunkten korrigieren.

4.3.1.1 Clock Domains

Im Netzwerk können mehrere Masterclocks vorhanden sein, welche ihre zeitliche Vorstellungen an bestimmte Slaves verteilen. Durch die Erstellung von Clock Domains können Netzwerknoten gleicher Taktung zusammengefasst werden. Daraus resultieren unterschiedliche Vorstellungen der absoluten Zeit in einem Netzwerk. Pro Domain kann es aber nur einen Mastertakt geben. Wenn ein Master seinen Takt verteilt, wird zusätzlich eine Domainnummer angegeben. Jedes Gerät kann dadurch der entsprechenden Domain zugeordnet werden, um sicherzustellen, dass es seine Zeitinformationen über PTPv2 ableitet. Das hierfür verantwortliche Clock Domain Attribut ist eine RAVENNA-spezifische Erweiterung des Session Description Protocol. Das Attribut wird, nach Aussagen der ALC NetworX GmbH, bald offiziell unter dem Namen Clock Source Draft, in einem RFC veröffentlicht werden.¹⁰⁴

Clock Domains machen auch in WAN-Umgebungen Sinn. Ist GPS die Synchronisationsquelle, können zwei lokale Master die gleiche Domainnummer erhalten. Dadurch beziehen sie ihr Timing gleichermaßen von GPS und können, unabhängig von der geographischen Entfernung, präzise synchronisiert werden.

4.3.2 Erzeugen der Mediaclocks (Operation 2)

Durch Network Interface Controller gelangen die PTP-Pakete an die lokalen Uhren jedes Gerätes, welche ihr lokales Timing dem Takt des PTP-Masters anpassen. Geräte-interne Mediaclocks übernehmen den Takt, um Mediendaten zeitlich steuern zu können. RAVENNA nimmt die vorhandene lokale Mediaclock und überprüft, ob ein gesen-

¹⁰³ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹⁰⁴ Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

deter oder empfangener Stream die Eigenschaften hat, welche kompatibel mit den Mediaclock-Einstellungen sind. Falls die Quelle der Synchronisation und die Abtastrate an einem lokalen Netzwerkknoten nicht zusammenpassen, verweigert der Knoten den Verbindungsaufbau.¹⁰⁵

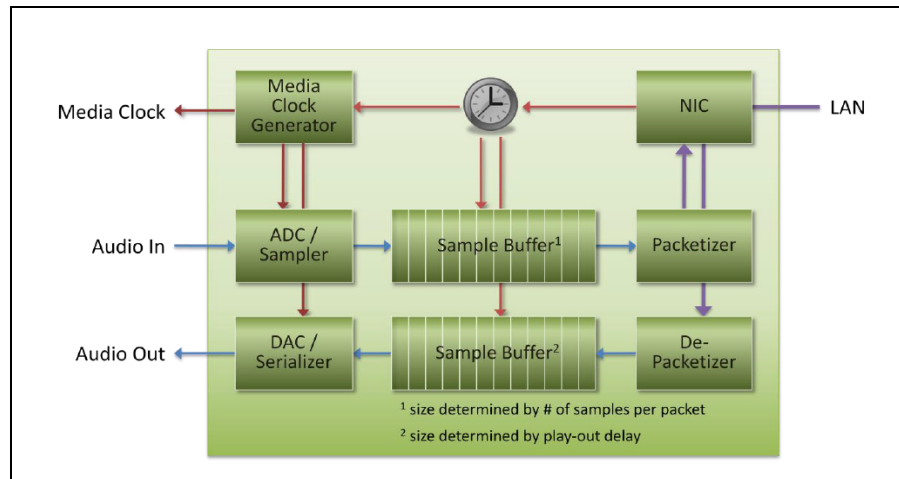


Abbildung 13: Basiskomponenten eines RAVENNA-Knotens für die Synchronisation¹⁰⁶

Die eingestellte Abtastfrequenz sollte, laut der ALC NetworX GmbH, wenigstens 48000 Samples pro Sekunde betragen, um einen geläufigen Standard für die Übertragung anzubieten.¹⁰⁷ Der eigentliche Synchronisationsprozess läuft dabei unabhängig von der Wahl der Abtastfrequenz. Die Mediaclocks stehen dennoch in einer festen Beziehung zur den lokalen Uhren. Wird beispielsweise eine Abtastrate von 48 kHz gewählt, rückt die lokale Uhr mit jeder verstrichenen Minute genau 48000 Samples in jedem Gerät nach vorn. Dabei können verschiedene Mediaclocks parallel auf dem gleichen Netzwerk vorhanden sein, wenn mehrere Masterclocks ihre absolute Zeit an die zugehörigen Slaves verteilen.

¹⁰⁵ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹⁰⁶ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_WEB_Flyer_2013.pdf [Stand: 14.11.2013]

¹⁰⁷ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

4.3.2.1 Zeitepoche des Precision Time Protocol

PTPv2 als Synchronisationsprotokoll besitzt auf einer Zeitskala einen Nullpunkt, welcher den Start der zeitlichen Vorstellung des Protokolls widerspiegelt. Dieser auch als Epoche bezeichnete Punkt ist im Falle von PTPv2 der 1. Januar 1970, 00:00 UTC.¹⁰⁸ Würde man eine extrem präzise synchronisierte Mediaclock auf unbestimmte Zeit in die Vergangenheit verlängern, sollte ein bestimmtes Sample mit der Epoche der PTP-Zeitreferenz übereinstimmen.¹⁰⁹ Um möglichst genau synchronisieren zu können, geben Hersteller bestimmte Bedürfnisse und Anforderungen ihrer Geräten an, welche eingehalten werden müssen, damit das Gerät erwartungsgemäß laufen kann.

4.3.3 Asynchrone Streams

Grundsätzlich ist ein Knoten im RAVENNA-Netzwerk nicht verpflichtet sein Timing von der PTP-Masterclock zu beziehen. Auch wenn alle Streams im Netz gleich getaktet sind, besitzen einige kein Verständnis für die absolute Zeit der Masterclock. RAVENNA-kompatible Technologien, wie Livewire Legacy, können ihr Timing nicht von der PTP-Masterclock beziehen.¹¹⁰ Asynchrone Streams laufen demzufolge nur frequenzsynchron. Demnach können zwei gleiche Streams mit gleicher Paketrate unterschiedlich schnell an einem Empfängergerät ankommen. Die genaue Differenz kann dabei nicht ermittelt werden.

Asynchrone Streams können auch als Taktgeber für lokale Uhren verwendet werden. Für solche Situationen wird es in Zukunft eine Überarbeitung von RAVENNA geben, welche Mittel festlegt, wie man einen Stream asynchron laufen lässt und ihn als Zeitreferenz für Slaveclocks nutzt. PTPv2 wird in diesem Fall trotzdem noch gebraucht, damit alle Streams auf eine gemeinsame Zeitbasis Bezug nehmen. Der Support dieser Funktion ist optional und muss nicht vom Gerätehersteller zwingend umgesetzt werden.

108 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

109 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

110 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

4.4 Datenübertragung

Die paketbasierende Übertragung zwischen RAVENNA-Geräten funktioniert mit dem User Datagram Protocol (UDP), welches eingekapselte RTP-Pakete enthält und letztendlich in IP-Paketen transportiert wird. Mögliche Nutzlast-Formate und RTP-Profile sind in verschiedenen Request for Comments¹¹¹ beschrieben und werden vom Hersteller je nach Anwendung und Gerät bestimmt. Dabei richtet sich die ALC NetworX GmbH, wie im Kapitel 4.2.3 erwähnt, nach der Anfrage auf dem Markt. RAVENNA setzt dennoch voraus, dass wenigstens 16 Bit und 24 Bit als Bittiefen unterstützt werden. Die Unterstützung eines 32 Bit-Formats ist optional, wird aber trotzdem vom Hersteller ALC NetworX empfohlen, um eine vollständig Bit-transparente Übertragung zu erlauben.

4.4.1 Audio Video Profile

Der Einsatz von RTP in IP-Netzwerken mit geringer Bandbreite ist als kritisch anzusehen, denn RTP gilt aufgrund seiner enormen Headergröße als ineffizient. Mittlerweile gibt es Methoden zur Overhead-Kompression und bestimmte Nutzlastformate, welche eine effizientere Nutzung von RTP erlauben. In diesem Fall bietet RAVENNA Unterstützung für spezielle RTP-Profile. Für die Echtzeitübertragung von Audio und Videodaten kommt das Audio Video Transport Profile zur Anwendung (AVP)¹¹², welches die Nutzung des RTP mit Unicast- und Multicast-UDP spezifiziert.¹¹³

4.4.2 Packen und Entpacken

Das Packen und Entpacken der Signale geschieht innerhalb eines RAVENNA-Geräts. IP-Pakete kennen zwar keine Obergrenze bei ihrer Größe, werden aber dennoch in maximal 576 Byte großen Fragmenten transportiert, da sie innerhalb eines Systems verschiedene physikalische Netze mit unterschiedlichen zulässigen Paketgrößen durchlaufen (siehe Kapitel 2.3). Die maximale Größe des IP-Pakets soll auch als Standard bei RAVENNA gelten. Wie viele Samples ein Paket beinhalten soll wird von RAVENNA aber nicht vorgegeben. Die maximale Paketgröße sollte aus Performancegründen nicht überschritten werden, da riesige Pakete dauerhaft wichtige Streaming-Ressourcen für sich beanspruchen. Sobald die gewünschte Anzahl an Samples erreicht ist,

¹¹¹ Verwendete Nutzlastformate sind z.B. in RFC 3190, RFC 3550 und RFC 3551 beschrieben.

¹¹² AVP ist im RFC 3551 definiert.

¹¹³ URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc3551> [Stand: 24.1.2014]

werden die Audiosignale in RTP-Pakete verpackt und über die Network Interface Cards ausgesendet. Am Fall eines redundanten Netzwerks kommt ein Dual NIC zur Anwendung.

Obwohl standardmäßig ein Sender die Paketgröße nicht variiert, können für bestimmte Anwendungen wechselnde Paketgrößen sinnvoll sein. Je nach Größe teilt der Sender den Paketen Nummern zu, welche im Voraus mit dem Empfänger kommuniziert werden. Das RTCP-Protokoll sorgt dafür, dass von Sender zu Empfänger Informationen gelangen können. Dadurch hat der Empfänger im Netzwerk die Chance sich während der Laufzeit eines Streams auf einen Wechsel der Paketgröße vorzubereiten, ohne dabei die tatsächliche Größe des Pakets zu kennen.¹¹⁴

Kommen die IP-Pakete beim Empfänger an, werden sie abhängig vom vergebenen Zeitstempel für bestimmte Zeit in einem Buffer zwischengespeichert. Das Stream Timing unter Verwendung von RTP-Zeitstempeln wird im Folgenden beschrieben.

4.4.3 Stream Timing

Ein Zeitstempel in jedem RTP-Paket kennzeichnet die Entstehungszeit des ersten Samples im Paket. Anhand dieser Zeitinformation wird die Ausspielzeit jedes einzelnen Samples an Empfängergeräten erkannt. Dadurch werden zueinander gehörige Samples entsprechend eingeordnet. Je nach Anwendung und Gerät kann ein willkürlicher Zeitversatz entstehen, welcher korrigiert werden muss. Die Zeitdifferenz wird zusammen mit anderen Parametern kommuniziert, um eine korrekte Decodierung und einen korrekten Zeitabgleich beim Empfänger zu ermöglichen. Sender und Empfängerpunkte müssen ihre interne Mediaclock mit der Mediaclock des Streams abgleichen, um den Versatz zu korrigieren.¹¹⁵ Ein Buffer am Empfänger berücksichtigt an dieser Stelle die ausgewählte Latenz. Die Größe eines Buffers ist von der Anwendung abhängig und wird vom Hersteller festgelegt. Für den professionellen Audiobereich empfiehlt die ALC NetworX GmbH, den Zwischenspeicher zu minimieren, um Latenzen so gering wie möglich zu halten. Die Buffergröße sollte aber wenigstens 1024 Samples pro Kanal betragen.¹¹⁶

¹¹⁴ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹¹⁵ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹¹⁶ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

4.4.3.1 Latenzen

Hohe Latenzen in einem Netzwerk müssen nicht zwangsläufig als negativ bewertet werden. Je nach Anwendungsgebiet können verschieden hohe Latenzen Sinn machen. RAVENNA bietet ein sehr flexibles Latenzschema. Während bei Live- und Studioanwendungen im lokalen Bereich eine Echtzeitübertragung sehr wichtig für die Qualität der Anwendung ist, benötigen Geräte in WAN-Verbindungen extrem große Zwischenspeicher, um die Netzwerkkomponenten synchron zu halten. Dadurch entstehen größere Latenzen, welche aber bei typischen WAN-Anwendungen, wie Live-Konferenzen, kein großes Problem darstellen. Aufgrund dieser Spannweite kann ein RAVENNA-System auch mehrere Streams mit unterschiedlichen Latenzen beinhalten. Die Größe der Latenz hängt demnach von folgenden Faktoren ab:

- RAVENNA, als IP-basierende Lösung, kann in jede Netzwerkinfrastruktur, welche IP unterstützt eingebunden werden. Parameter wie Übertragungsgeschwindigkeit oder Latenzen skalieren mit der Leistungsfähigkeit der zugrundeliegenden Netzwerkinfrastruktur. Obwohl Fast Ethernet unterstützt wird, ist die Verwendung von Gigabitnetzwerken empfohlen.
- RAVENNA gibt keine festgeschriebene Paketgröße vor. Folglich können in RAVENNA-Streams auch einzelne Samples pro Kanal transportiert werden. Theoretisch ergeben kleinere Pakete eine niedrigere Latenz. Pakete mit wenigen Samples verursachen jedoch einen großen Overhead, da sie nicht voll „bepackt“ sind. Daraus resultiert eine höhere Beanspruchung der Bandbreite auf Kosten der Anzahl an möglichen Streams in einem Netzwerk.
- Jittereffekte im Netzwerk verursachen bei Paketen mit Nutzlast-Daten minimale Abweichungen der üblichen Latenzzeit. Der Grund ist konkurrierender Verkehr, welcher wichtige Audiopakete bei ihrem Weg zum Ziel bremsen kann. Abhilfe schaffen hier sogenannte Jitterbuffer am Empfänger, welche Pakete bis zu ihrer Wiedergabezeit zwischenspeichern. Die Größe des Buffers sollte weder zu klein noch zu groß gewählt sein. Ist der Buffer zu klein, werden Pakete bereits vor ihrer Wiedergabezeit ausgespielt, da der Buffer schnell voll ist und keine weiteren Pakete zwischenspeichern kann. Bei einem zu großen Zwischenspeicher ist das System zwar immun gegen Jittereffekte, aber dadurch zusätzlichen Latenzen ausgesetzt.¹¹⁷ Um störenden Verkehr einzudämmen, unterstützt RA-

117 COMER, 2003: S. 507

VENNA IP-basierende Quality of Service-Mechanismen (QoS), welche im Kapitel 4.6 näher beschrieben werden.

- Sollen die Latenzen mehrerer Streams für die zeitgleiche Ausspielung angeglichen werden, kommen ebenfalls Jitterbuffer zum Einsatz. Alle betroffenen Streams müssen ihre Latenz nach dem Stream mit der höchsten Latenz anpassen, um gleichzeitiges Ausspielen zu ermöglichen. Die Latenz kann dabei für jeden Stream unabhängig konfiguriert werden. Um die Konfiguration zu erleichtern empfiehlt es sich Presets verschiedener Latenzzeiten je nach Anwendung zu erstellen.¹¹⁸ Die Kategorien werden von System-Designern oder Netzwerkadministratoren erstellt.
- Externe Ursachen, wie A/D- und D/A-Wandlung oder DSP Funktionen, sind bei der Entstehung von Latenzen ebenfalls zu berücksichtigen.

4.4.4 Beschreibung des Streams

Alle Informationen zu einem Stream sind durch das Session Description Protocol (SDP)¹¹⁹ in einem Dokument zusammengefasst, welches eine Sitzung beschreibt. Das Protokoll eignet sich zum Beschreiben von Multimediasstreams, da es auch über verschiedenste Transportprotokolle übertragen werden kann. Den Austausch der Dokumente zwischen Sender und Empfänger ermöglicht das rein textbasierende Realtime Transport Streaming Protocol, welches im Kapitel 4.5 'Verbindungsmanagement' beschrieben wird. Ein Empfänger benötigt das SDP-Dokument zwingend, um sich zum Stream verbinden zu können und Pakete richtig zu dekodieren. Anhand des Dokuments kann der Empfänger z.B. auf zugehörige IP-Adressen und Portnummern des Streams zugreifen. Zudem enthält das Dokument Informationen zum Nutzlastformat, zur Kanalanzahl und im Falle eines Audiostreams, zur verwendeten Abtastrate. Diese und weitere Parameter eines Streams, werden am Interface des Empfängergerätes abgeglichen, um zu entscheiden, ob der Stream überhaupt korrekt empfangen werden kann.¹²⁰ Das SDP-Protocol kann um RAVENNA-spezifische Attribute erweitert werden, um schneller eine Verbindung aufzubauen.

118 COMER, 2003: S. 507

119 SDP ist im RFC 4566 definiert.

120 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

4.4.4.1 SDP-Erweiterung: Angabe der Synchronisationsquelle

Bei allen Streams in einer Sitzung wird immer angenommen, dass sie ihr Timing von der ursprünglichen Synchronisationsquelle, dem Mastertakt, beziehen. Im Fall von PT-Pv2 ist der Mastertakt, mit seiner Clock Domain und der Domainnummer, im SDP-Protokoll angegeben.¹²¹ Der Hersteller ALC NetworX empfiehlt, dieses Attribut in jedes SDP-Dokument eines RAVENNA-Streams zu implementieren. Falls nicht, könnte eine Empfängergerät annehmen, dass die Synchronisationsquelle unbekannt ist. Das Gerät würde schließlich den Empfang des Streams verweigern.

4.4.4.2 SDP-Erweiterung: Zuordnung des RTP-Zeitstempels

Das SDP-Attribut ermöglicht Streams, welche mit einem RTP-Zeitstempel versehen sind, ihr Timing von einer gemeinsamen Synchronisationsquelle zu beziehen.¹²² Dadurch kann die Taktung auf alle Empfänger des synchronisierten Streams reproduziert werden. Der RTP-Zeitstempel entspricht dabei der Epoche der PTP-Synchronisationsquelle. Wird dieses Attribut genutzt, muss in der aktuellen Sitzung zusätzlich das Clock-Domain Attribut vorhanden sein, welches ein Netzwerk mit mehreren Masterclocks in Domains unterteilt. Fehlt das Attribut wird das RTP-Sync-Time-Attribut ignoriert. Wenn ein Clock-Domain-Attribut vorhanden ist, aber das Sync-Time-Attribut fehlt, kann der Empfänger nicht mit Sicherheit sagen, inwiefern sich der Stream auf die absolute Zeit der Synchronisationsquelle beziehen kann. Dadurch ist eine präzise Synchronisation wahrscheinlich nicht mehr möglich. Der Empfänger kann entweder den Stream ablehnen, oder er „errät“ eine angemessene Taktung.¹²³

4.4.4.3 SDP-Erweiterung: Abweichung des Taktes

Der Support von Pull-up- und Pull-down-Sampleraten ist bei RAVENNA optional und wurde bisher in kein Gerät implementiert.¹²⁴ RAVENNA-Geräte haben aber prinzipiell die Möglichkeit Pull-up- und Pull-down-Sampleraten, einschließlich der Abweich-Verhältnisse, zu unterstützen. Der Sinn ist, dass Taktfrequenzen gewollt von ihrem Normalwert abweichen, um eine Audiospur temporär an NTSC-Videos anzupassen. Das NTSC-Format wird mit 29,97 Bildern pro Sekunde wiedergegeben, während ein norma-

121 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

122 Genaue Angaben zum Attribut sind in der Betriebsanleitung von RAVENNA nachzulesen.

123 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

124 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

ler Kinofilm mit 24 fps läuft. Um die Bildrate des NTSC-Formats dem Kinoformat anzupassen, muss ein ganzzahliges Verhältnis hergestellt werden. Dazu werden die 24 fps mit einem Dropdown von 0,1% (entspricht einem Verhältnis von 1000/1001) auf 23,976 fps verlangsamt. Ist eine Audiospur auf die 24 fps einer Videokamera synchronisiert, muss in der Post Produktion sichergestellt sein, dass bei der Samplerate des Audiosignals ebenfalls ein Pull-down stattfindet. In diesem Fall würde eine Abtastfrequenz von 48000 Samples/s in 47952 Samples/s konvertiert werden.¹²⁵ Auch wenn die Implementierung dieses Attributs optional ist, muss ein Empfänger in der Lage sein, Pull-up und Pull-down-Streams von unbekannten Streams, deren Timing ebenfalls von der lokalen Mediaclock abweicht, unterscheiden zu können.

4.5 Verbindungsaufbau und -management

Der Verbindungsaufbau ist ein mehrstufiger Vorgang, in welchem verschiedene Protokolle und Mechanismen involviert sind. Zunächst erhält ein Gerät seine grundlegenden Einstellungen (z.B. die IP-Adresse), um überhaupt in dem Netzwerk funktionieren zu können. Anschließend sorgen bestimmte Dienste dafür, dass Geräte im Netzwerk sichtbar gemacht werden. Danach können Geräte adressiert und in eine Sitzung integriert werden. Die einzelnen Schritte werden in den nächsten Unterkapiteln erklärt.

4.5.1 Netzwerkkonfiguration

RAVENNA gibt nicht vor wie ein Gerät seine Einstellungen erhält, um an der Kommunikation im Netzwerk teilnehmen zu können. Für sehr einfache Installationen reicht es aus das Netzwerk manuell zu konfigurieren. In den meisten Fällen profitieren Anwendungen aber von Netzwerkdienstleistungen, wie dem Dynamic Host Control Protocol¹²⁶ und dem Domain Name System. Die Vergabe einer eindeutigen IP-Adresse und die Zuweisung einer Subnetzmaske, geschieht in der Regel über solche Dienstleistungen.¹²⁷ Im Falle einer DNS-Infrastruktur, werden außerdem Adressen an DNS-Server vergeben. Einmal vorgenommene Einstellungen müssen bei einer Änderung im Netzwerk nicht immer wieder angepasst werden. Entsprechende Vorgaben können im Vorfeld in der Konfigurationsdatei des DHCP- bzw. DNS-Servers geändert werden.

¹²⁵ Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

¹²⁶ DHCP ist im RFC 2131 definiert.

¹²⁷ URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0812221.htm> [Stand: 24.1.2014]

DHCP gilt als unsicher und leicht manipulierbar, da DHCP-Clients jeden DHCP-Server akzeptieren. Zwar lassen sich anhand eindeutiger MAC-Adressen zugehörige Verbindungen ausmachen; mittlerweile ist es aber einfach, registrierte MAC-Adressen zu fälschen. DHCP als Authentifizierungs- und Identifikationsprotokoll kann nicht ausmachen, welche Adressen oder Hostnamen im IP-Protokoll vertrauenswürdig sind. Ein zuverlässiges Mitführen der Sitzungsdaten kann erst auf der Anwendungsschicht durch einmalig vergebene Identifikatoren ermöglicht werden.¹²⁸

Die Wahl der Einstellhilfen hängt vom Hersteller ab. Für RAVENNA empfiehlt es sich, neben der manuellen Einstellmöglichkeit, wenigstens DHCP-unterstützte Netzwerkkonfigurationen zu implementieren. Für kleine Netzwerke, in denen kein DHCP/DNS-Server vorhanden ist, können Zero Configuration-Dienste, wie Bonjour unterstützt werden, um eine automatische Konfiguration der Adressen zu ermöglichen.

4.5.2 Sichtbarkeit von Diensten im Netzwerk

Damit ein Gerät von anderen RAVENNA-Knoten erkannt wird, muss es sich im Netzwerk erkennbar machen. Zusätzlich müssen Informationen zu den verfügbaren Diensten des Geräts sichtbar sein (z.B. Informationen zur eigenen IP-Adresse, dem Host-Namen und den unterstützten Protokollen). Dazu wird eine Datenbank angelegt, welche die Verfügbarkeit von Diensten protokolliert und im ganzen Netzwerk verfügbar ist. Für jeden Geräteservice muss ein Eintrag in der Datenbank angelegt und gelöscht werden, wenn er nicht mehr verfügbar ist. Hierfür nutzt RAVENNA DNS, welches in zwei Protokollausprägungen vorkommt.

4.5.2.1 DNS-Service Discovery (DNS-SD)

Service Discovery ist nur möglich wenn eine entsprechende DNS-Infrastruktur vorhanden ist. In vielen Netzen gibt es einen Primary- und einen Secondary-DNS-Server. Durch dieses redundante System ist mindestens immer ein Server vorhanden. Ein DNS-Server versorgt Clients mit Informationen zu den Diensten eines Geräts (z.B. RTSP und HTTP), falls dieser eine Anfrage stellt.¹²⁹ Jedes Gerät zeigt lediglich, welche Dienste es anzubieten hat. Anschließend können die Informationen anhand eigener Dienste lokal am Gerät abgerufen werden. Somit werden nur Informationen zu Diensten öffentlich gemacht, die gerade benötigt werden. Netzwerke werden folglich nicht mit sich ständig veröffentlichenden Diensten belastet. Um ein dynamischen Hinzufügen

128 URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol [Stand: 24.1.2014]

129 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0901141.htm> [Stand: 24.1.2014]

und Entfernen von Diensten zu gewährleisten, können DNS-Server ein Update von DNS auf Dynamic DNS bieten.

Grundlegende Sichtbarkeit Dienste, wie RTSP und HTTP, werden vor dem Start einer Sitzung im DNS-SD-Browser angezeigt. Die für die Registrierung genutzten Dienstnamen setzen sich aus der ID des Geräteherstellers, der Produkt-ID und der Seriennummer zusammen. Hinzu kommt noch der benutzerdefinierte Geräte name. Um die Suche speziell auf RAVENNA-Dienste zu optimieren, gibt es sogenannte RAVENNA-Subtypen, welche zusätzlich zur Hersteller-ID registriert werden.¹³⁰ Ist die Registrierung abgeschlossen, kann jeder RAVENNA-Knoten mit dem DNS-SD-Browser in einem Netzwerk gefunden werden.

Fall der Namenskollision Gerätehersteller sind verantwortlich dafür, dass jedes Gerät eine einzigartige ID besitzt. Wird diese Norm eingehalten, sollte die Service-Registrierung mittels der ID des Anbieters nicht fehlschlagen. Die Service-Registrierung mit benutzerdefinierten Namen kann wiederum nur dann fehlschlagen, wenn für verschiedene Geräte der gleiche Name verwendet wird. In diesem Fall sollte ein Gerät in der Lage sein, dieses Problem auf einer graphischen Benutzeroberfläche anzuzeigen, damit es manuell behoben werden kann.¹³¹

DNS-SD Service Text DNS-SD erlaubt RAVENNA-Geräten ihre Dienste als Service-Text zu veröffentlichen, um zusätzliche Informationen verbreiten zu können. Der Text sollte nur Informationen enthalten, die nicht schon durch die Dienstleistung selbst abgerufen werden können. Innerhalb von RAVENNA kann dieser Service-Text zum optimieren der Geräteerkennung genutzt werden. Die Implementierung des Service Textes ist bei RAVENNA optional.¹³²

4.5.2.2 Multicast DNS (Bonjour)

Namen und IP-Adressen ohne DNS-Server zu übersetzen erweist sich oftmals als problematisch. Einen Mechanismus zum automatischen Veröffentlichen und Finden von Geräteservices, wurde von der Zeroconf Working Group in Form des Multicast DNS (mDNS) zusammengefasst. Multicast-DNS ist Teil der ZeroConf-Protokollfamilie und wie DNS-SD kein formaler Standard. Das mDNS-Verfahren veröffentlicht eine Be-

¹³⁰ Die Notierung der Dienstnamen sind in den Operational Principles von RAVENNA nachzulesen.

¹³¹ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹³² HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

schreibung, wie Clients verfahren müssen, wenn sie DNS-Anfragen an Multicast-Adressen senden. Es steht kein zentraler Server zu Verfügung, welcher Informationen aussendet. Stattdessen wird jeder Geräteservice per Multicast im ganzen Netzwerk veröffentlicht, wodurch ein automatischer Verbindungsaufbau ermöglicht wird. Multicast DNS eignet sich vorrangig für kleine lokale Netzwerk, welche wenige Geräte beinhalten.¹³³

4.5.2.3 Adressierung der Geräteservices

RAVENNA bietet zwei unterschiedliche Methoden der Adressierung für RTSP-Dienste an. Die erste Möglichkeit besteht darin, den Dienst mit einem Standard RTSP-Uniform Resource Locator zu adressieren, bei dem der Hostname und die Portadresse gegeben sein müssen. Werden RTSP-Dienste auf diese Weise adressiert, versuchen sie sich mit jedem Netzknoten, der diese Adresse nutzt zu verbinden. Dabei spielt es keine Rolle ob der Netzknoten RAVENNA unterstützt oder nicht.¹³⁴

Eine differenziertere Lösung stellt das Adressieren anhand einer Zeroconf-Adresse dar. RAVENNA benötigt dafür die ID des Anbieters und den benutzerdefinierten Namen des Geräts. Der entstandene Uniform Resource Identifier kann in einen RTSP-URL gewandelt werden, indem der Name des RTSP-Service mit DNS-SD aufgelöst wird.

HTTP-Dienste werden über einen unabhängigen Server auf einer Webseite angeboten. Diese lässt sich mit HTTP-Browser anhand einer URL adressieren.

4.5.3 Verbindung zu einer Sitzung herstellen

RAVENNA nutzt das Real-Time Streaming Protocol¹³⁵ für den Verbindungsaufbau und -abbau einer Sitzung. Wie bereits in Kapitel 2.5 erwähnt wurde, ist RTSP rein textbasiert und transportiert keine Nutzdaten. Das Protokoll erhält Anfragen als reine SDP-Informationen von Sender- und Empfängergeräten, um diese zu beantworten. Dabei sind Sender im Netzwerk die RTSP-Server und Empfänger die RTSP-Clients.

133 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

134 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

135 URL: http://www.mackie.com/support/FAQ/pullups_pull downs.html [Stand: 24.1.2014]

4.5.3.1 RTSP Client- und Server Verhalten

Ein Client im Netzwerk sendet eine Anfrage an die Sitzung mit der er sich verbinden möchte. Bei der Beantwortung der Fragen werden erneut SDP-Dokumente an das Empfängergerät zurück geschickt. Empfängt der Client Informationen zum Namen, zum verwendeten Nutzlastformat, zur Kanalanzahl und zu den Zugangsbedingungen der Sitzung, kann eine Verbindung hergestellt werden.¹³⁶ Sobald eine Verbindung hergestellt wurde, kann der RTSP-Server den Client über Änderungen einer Sitzung informieren, indem regelmäßig aktualisierte SDP-Dokumente an den Client geschickt werden. Für die Beantwortung von Anfragen zur Namensauflösung verwendet RAVENNA DNS. Die Sichtbarkeit von Diensten im Netzwerk wurde bereits in Kapitel 4.5.2 behandelt.

Dienste, die mit DNS nicht angezeigt werden, sollen in RAVENNA immer noch vom Nutzer entdeckt werden können. Dazu müssen im Vorfeld folgende zwei Fragen beantwortet sein:

1. Welcher RTSP-Service hostet die unbekannte Sitzung?
2. Wie lautet der Sessionname bzw. die Session-ID?

Ist eine Sitzung unvollständig konfiguriert, bzw. gar nicht vorhanden, antwortet der RTSP-Server normalerweise mit einem „NOT FOUND“, ohne dabei die Verbindung abubrechen. Dadurch ist der Client gezwungen, solange Anfragen an den Server zu stellen, bis dieser bestätigt, dass eine neue Sitzung eingeleitet wurde.¹³⁷

4.5.3.2 Adressierung einer Sitzung anhand ihres Identifikators

Jede Sitzung muss eine einmalige ID besitzen, um an einem Gerät konfiguriert werden zu können. Mit URL-Pfaden kann ein Empfänger Sitzungen anhand ihrer ID registrieren und adressieren. Gültige URIs, welche den Sitzungspfad inklusive der ID beinhalten sind in der Betriebsanleitung von RAVENNA enthalten.¹³⁸

¹³⁶ HILDEBRAND: „RAVENNA AES67 Draft 1.0“ URL:

http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_AES67_V1.0.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹³⁷ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL:

http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

¹³⁸ HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL:

http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

4.5.3.3 Adressierung einer Sitzung anhand ihres Namens

Sitzungen können ebenso anhand ihres Namens adressiert werden. Die Adressierung erfolgt auch hier anhand einer URI-Notation, welche den Namen der RAVENNA-Sitzung enthält. Der URI wird daraufhin mit DNS-SD in einen vollständigen RTSP-URL gewandelt. Wichtig ist, dass bei der Auflösung mit DNS-SD die aufgelöste Host-/Port-Adresse erhalten bleibt.¹³⁹

4.5.4 Anzeige einer Streaming-Sitzung

Eine Sitzung kann angezeigt werden, sobald sie vollständig konfiguriert ist und gestartet wurde. Ist sie nicht vollständig konfiguriert bzw. deaktiviert, sorgt DNS-SD dafür, dass die Sitzung im Gerät auch nicht sichtbar ist. Die Namensänderung einer Sitzung sollte keine Auswirkungen auf bereits angeschlossene Empfängergeräte haben. Wenn durch die Änderung einer Sitzung trotzdem zu viele negative Effekte auftreten, sollte die Session abgebrochen und neu erstellt werden.¹⁴⁰ Eine vollständig konfigurierte und vorhandene Sitzung besteht aus zwei Teilen.

Session Name Der Name der Sitzung muss innerhalb des DNS-SD-Bereichs eindeutig sein. Der Einsatz einzigartiger Sitzungsnamen erlaubt es z.B. einen Backup-Knoten im Vorfeld zu konfigurieren. Fällt das primäre Gerät aus, erhält das Backup-Gerät die gleichen Einstellungen vom Netzwerk, wie das Original.¹⁴¹ In diesem Fall wird der Name der Sitzung benötigt, um das richtige Gerät als Backup auszumachen. Andere Netzwerkknoten erkennen dabei keinen Unterschied zwischen dem primären Gerät und dem Backup.

Content Identifier Die Inhaltsbezeichnung ist nicht eindeutig. Sie werden als DNS-SD-Subdienste zugelassen, welche nicht einzigartig gekennzeichnet sind. Sitzungen, welche die gleiche Inhaltsbezeichnung teilen, müssen demzufolge den gleichen Inhalt tragen.¹⁴² Allerdings können Streams einer Sitzung verschiedene Einstellungen, wie z.B. verschiedene Samplefrequenzen haben. Um eine Verbindung auszulasten, können viele Anfragen zur Inhaltsbezeichnung einer Sitzung mit Load Balancing-Verfahren

139 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

140 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

141 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

142 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

parallel arbeitender DNS-Server verteilt werden (siehe Kapitel 4.5.2.1). Bereitgestellte Dienste, welche Antworten zur Inhaltsbezeichnung liefern, werden auf zwei Server verteilt. Dadurch kann der Service vor Ausfällen geschützt werden.¹⁴³

4.5.5 Gerätekonfiguration

Im Audibereich können zusätzlich gerätespezifische Einstellungen mit dem Hypertext Transfer Protocol vorgenommen werden.¹⁴⁴ HTTP wird hauptsächlich im World Wide Web genutzt, um Webseiten in einen Webbrowser zu laden. Die Einstellungen werden über einen unabhängigen Webserver ermöglicht, auf den jeder Browser zugreifen kann. Anhand einer Webpage können Geräte und Netzwerke konfiguriert werden. Neben Statusmeldungen zur Leistungsfähigkeit eines Geräts können weitere Parameter möglicherweise sichtbar und einstellbar sein. Dazu gehört die Namensänderung eines Geräts, Änderungen der Samplerate und bestimmten Clocking- und Latenzeinstellungen und das Abrufen von Informationen zur Netzwerkinfrastruktur. Das Design der Seite bestimmt der Hersteller.¹⁴⁵

4.5.6 Monitoring

Streams können aus der Ferne überwacht werden, solange man den RTCP-Stream am Fernsteuerpunkt erhält. Außerdem wird bei jedem Netzwerkknoten empfohlen, Kontrollfunktionen für die lokalen Streams auf unabhängigen Webservern anzubieten. Veröffentlicht der Knoten seine HTTP-Dienste, kann der Stream mit Hilfe des Webserver bedient werden.¹⁴⁶

4.5.7 Einbinden eines Personal Computers

RAVENNA erlaubt die Verbindung eines PCs mit einem Netzwerk. Um eine Netzwerkkonfigurations-Umgebung, wie sie in jedem RAVENNA-Gerät vorhanden ist, zu schaffen, muss die RAVENNA Virtual Soundcard installiert werden. Die virtuelle Karte ist bisher nur für das Betriebssystem Windows 7 ausgelegt. Mit dem Bonjour-Verfahren, werden ZeroConf-Dienste, wie mDNS ins System implementiert, um die automatische Erkennung des PCs im IP-Netz zu gewährleisten. Mit der frei erhältlichen RVSC können RA-

143 URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0906201.htm> [Stand: 12.1.2014]

144 HTTP 1.1 aus dem Jahr 1999 ist im RFC 2616 definiert.

145 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

146 HILDEBRAND, MICHL, HEINZMANN: „RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf [Stand: 12.11.2013]

VENNA-Streams von Windows-Anwendungen gesendet und empfangen werden. Als Audiotreiber kommt das Windows Driver Model (WDM) zum Einsatz, um Wiedergabe- und Recordingsituationen zu schaffen, für welche jeweils ein Umfang von maximal 64 Kanälen zur Verfügung steht.¹⁴⁷ Media Player, wie VLC und Winamp können in ein RAVENNA-Netzwerk integriert werden, da sie WDM-Treiber unterstützen. Digital Audio Workstations (DAW), welche mit WDM funktionieren, können ebenfalls für Recording und Playback-Situation genutzt werden.

Streams im Netzwerk sehen die RVSC als ein normales RAVENNA-Gerät an, während Audioanwendungen unter Windows die Software als Audiotreiber beanspruchen. Die Karte ist dabei für die Wandlung zwischen dem RAVENNA-Stream und dem WDM-Audiotreiber verantwortlich.¹⁴⁸

Typische Situation, in denen RVSC zur Anwendung kommt sind folgende:

- Wiedergabeanwendungen, z.B. für Playbacks und Automationssysteme im Rundfunkbetrieb
- Aufnahmeanwendungen, z.B. Multitrack Recording
- Produktionsanwendungen, z.B. für journalistische Beiträge in Form von Audio Clips

Die Version 1.0 der RVSC unterstützt lineare Formate mit 16 und 24 Bit Bittiefe. Die Unterstützung vollständig Bit-transparenter Streams, in Form von 32-Bit Formaten ist ebenfalls gegeben. Signale können mit einer Samplingrate von 48 kHz abgetastet werden. Weitere Formate können in einer fortgeschritteneren Version von RVSC enthalten sein.¹⁴⁹ Die virtuelle Soundkarte wurde anfangs mit der rein Software-basierenden Variante des PTPv2-Protokolls synchronisiert. Mittlerweile liegt aber auch eine Hardware-unterstützte Synchronisation von PTPv2 vor.¹⁵⁰

147 HILDEBRAND: „RAVENNA WDM Virtual Sound Card-Specification“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_WDM_Virtual_Sound_Card_-_Specification.pdf [Stand: 14.1.2014]

148 Systemvoraussetzungen können im RVSC Installation Guide auf der Website des Herstellers nachgelesen werden.

149 HILDEBRAND: „RAVENNA WDM Virtual Sound Card-Specification“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_WDM_Virtual_Sound_Card_-_Specification.pdf [Stand: 14.1.2014]

150 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

4.6 Quality of Service

Um einen gewissen Grad an Dienstgüte bereitzustellen, wird in RAVENNA-Netzwerken Differentiated Services eingesetzt. DiffServ ermöglicht, dass wichtige Audiopakete bei der Übertragung dem sonstigen Datenverkehr vorgezogen werden. DiffServ wird weitflächig von modernen Switches und Routern unterstützt, welche anhand der Klassen erkennen, welche Pakete beim Streamen bevorzugt werden. Mit Hilfe der Priorisierung wird das Risiko eines Datenstaus zugunsten der priorisierten Audiodaten minimiert. Dadurch können bei Audiosignalen auftretende Jittereffekte und Phasenschwankungen minimiert werden. DiffServ ist allerdings kein Schema, welches ausreichend Bandbreite für eine Anwendung reserviert. Wie bereits in Kapitel 3.3.5 erwähnt, kann nicht garantiert werden, dass Streams immer die minimale Bandbreite besitzen, die sie für unterbrechungsfreie Übertragungen benötigen.

Bei dem Gebrauch von DiffServ ersetzen Differential Service Code Points (DSCP)¹⁵¹ das Dienstleistungsfeld Type of Service des IP-Headers. Mit DSCP können 64 Klassen entstehen und somit 64 verschiedene Prioritäten festgelegt werden. Die Werte sind allerdings stark von der Anwendung und der vorliegenden Netzwerkinfrastruktur abhängig. Diese Werte sollten in RAVENNA-Netzwerken konfigurierbar sein, um flexibel auf die Leistungsfähigkeit eines Netzwerks eingehen zu können. Richtlinien für die Konfiguration der DSCPs sind im RFC 4594 beschrieben.

Die Unterstützung von Quality of Service ist in den meisten handelsüblichen Switches enthalten, welche problemlos für ein RAVENNA-Netzwerk verwendet werden können.

4.6.1.1 Bandbreitenreservierung

In Ethernetumgebungen ist es möglich Bandbreiten für wichtige Streams zu reservieren. Eine Ethernet-basierende Methode ist z.B. das Stream Reservation Protocol (SRP). Reservierungsprotokolle stellen sicher, dass für die gesamte Dauer einer Datenkommunikation, die Isochronität von Datenstreams gewährleistet werden kann. Ein Protokoll für die Ressourcenreservierung auf IP-Basis fehlt bislang.¹⁵² Demzufolge muss in einem IP-Netz immer sichergestellt sein, dass ausreichend Bandbreite für die Anwendung vorhanden ist.

¹⁵¹ DSCP ist im RFC 3260 definiert.

¹⁵² Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

4.6.1.2 QoS in Wide Area Networks

Um den Betrieb der RAVENNA-Technologie in WAN-Bereichen zu erfüllen, darf in erster Linie kein öffentliches und unspezifiziertes Netz genutzt werden (z.B. das Internet). Das Netzwerk sollte Dienstleistungen, wie DiffServ und definierbare Maximum Jitter bereitstellen, um QoS-Kriterien einzuhalten. Zudem muss von der Administration des WANs sichergestellt werden, dass an den Edge Routern auf beiden Seite eine adäquate DiffServ-Unterstützung vorhanden ist. Diese Aufgabe liegt aber außerhalb der RAVENNA-Lösung. Lösungsansätze sind beispielsweise die Verwendung einer MPLS-Verbindung (Multiprotocol Label Switching), oder Dark Fibre LWL-Leitungen in Verbindung mit Edge Routern der Marke „Nimbra“.¹⁵³ Durch integrierte Mediadatenwandler und Codecs eignen sie sich für die Übertragung von Audiodaten. Hier wird eine effektive Nutzung der Bandbreite mit garantiertem Quality of Service kombiniert.

4.7 Einsatz von RAVENNA

Der professionelle Audiomarkt kann in verschiedene Segmente unterteilt werden, welche sich in ihrem Anforderungsprofil unterscheiden. Die Technologie von RAVENNA ist nach Angaben des Herstellers ALC NetworX voranging für den *Broadcast-Bereich* ausgelegt.¹⁵⁴ Eine Audio over IP-Lösung, wie RAVENNA, muss bestimmte Kriterien erfüllen, um beispielsweise in großen Rundfunkhäusern, kleineren regionalen Studios oder Übertragungswagen eingesetzt zu werden. Zu den wichtigsten Kriterien zählen folgende Parameter:

- Unterstützung verschiedener Dateiformate
- Verlustfreie Konvertierung bestimmter Datenformate
- Bereitstellung eines präzisen Taktungssystems, um eine Verbindung auch in Wide Area Networks aufzubauen
- Gewährleistung einer redundanten Technologie, um flexibel auf Systemausfälle zu reagieren

Gerade für die Signalverteilung zwischen Rundfunkhäusern sind stabile WAN-Verbindungen besonders wichtig. Der Service den eine AoIP-Lösung, wie RAVENNA, bietet sollte auch 24h am Tag verfügbar und nutzbar sein.¹⁵⁵

¹⁵³ Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

¹⁵⁴ URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/markets/overview.html> [Stand: 12.1.2014]

¹⁵⁵ URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/markets/broadcast.html> [Stand: 12.1.2014]

RAVENNA kann aber auch für Konzerte, Festinstallationen und Recording-Situationen genutzt werden. Für Echtzeit-kritische Applikationen im *Live-Betrieb* zählen folgende Attribute, welche mit RAVENNA umgesetzt werden können:

- Unterstützung extrem niedriger Latenzen, im einstelligen Millisekunden-Bereich, bzw. im Submillisekunden-Bereich (z.B. für das Echtzeit-kritische InEar-Monitoring wichtig)
- Gewährleistung eines unterbrechungsfreien redundanten Systems, durch Dual Network Interfacecards in jedem Gerät
- Einfache Inbetriebnahme, durch automatische Adressierung und Geräteerkennung, sowie übersichtliche Gerätekonfiguration

Mit dem HTTP-Protokoll können über eine Webseite Einstellungen vorgenommen und Fehlermeldungen angezeigt werden. Dabei können eingestellte Parameter als Presets abgespeichert werden.

Da RAVENNA IP-basierend ist und Quality of Service unterstützt können sich Audiosignale das Netzwerk mit sonstigen Daten teilen. Im Livebereich erweist sich diese Eigenschaft als nützlich, denn dadurch können gleichzeitig, Audiodaten, DMX-Kanäle für die Lichtsteuerung und Intercom-Signale für die Kommunikation übertragen werden.¹⁵⁶

Im *Recording-Bereich* muss eine präzise Synchronisation und die Unterstützung verschiedener Datenformate gewährleistet sein. Recording-Software kann problemlos mit der RAVENNA Virtual Soundcard ins Netzwerk integriert werden, ohne ein zusätzliches Audiointerface zu verwenden. Bei einem Live-Mitschnitt sind hohe Latenzen unproblematisch. In einer Studioumgebung sollten die Latenzen allerdings so gering wie möglich gehalten werden, um ein angemessenes Monitoring für den Musiker zu gewährleisten.¹⁵⁷

RAVENNA ist ebenso in festen sowie mobilen *Installationen* einsetzbar. Die Anwendungsfälle reichen von Theater- und Opernhäusern, über Sportstadien bis zu Krankenhäusern, Einkaufszentren und Flughäfen. Insgesamt ähneln sich die Anforderungen der vier Bereiche sehr.

¹⁵⁶ URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/markets/live-sound.html> [Stand: 15.1.2014]

¹⁵⁷ URL: <http://ravenna.alcnetworx.com/markets/recording.html> [Stand: 16.1.2014]

4.7.1 Partnerfirmen

Die ALC NetworX GmbH bietet Firmen eine Partnerschaft an, um sich aktiv an der Entwicklung von RAVENNA-Geräten zu beteiligen und den technologischen Standard zu verbreiten. Seit der Veröffentlichung im September 2010 auf der International Broadcasting Convention (IBC) in Amsterdam, konnte die RAVENNA-Technologie das Interesse vieler Manufakturen aus dem Live- und Studiobereich wecken. Bedingt durch die Ähnlichkeit zwischen RAVENNA und Livewire, konnte ALC NetworX Partnerfirmen von Axia, wie z.B. SOUND4, für sich gewinnen. Zu den Partnern der ALC NetworX GmbH zählen folgende 22 Firmen:

AEQ, AETA Audio Systems, Archwave, arkona technologies, Digigram, Dimetis, DirectOut, DSA Volgmann, Genelec, Infomedia, Lawo, L-S-B, Merging Technologies, M.T.S., Neumann, Qbit, Schoeps, SCISYS, Sonifex, SOUND4, Telos Alliance, World-Cast Systems

4.7.2 Einsatzgebiete

Mehrere Geräte-Hersteller aus dem Audibereich haben RAVENNA-fähige Geräte auf dem Markt gebracht. Aktuell sind verschiedene RAVENNA-Implementierungen z.B. in Kreuzschienensystemen, Mischpulten, Mikrofonen und Lautsprechern vorhanden. Die Schweizer Firma Merging Technologies, eine der ersten Partnerfirmen, setzt eigene RAVENNA-fähige Geräte bereits für Tonaufnahmen ein. Dabei wurden vor allem Orchesteraufnahmen, wie z.B. während der 'Vienna Philharmonic Summer Night Concert' am 30. Mai 2013 mit der RAVENNA-Technologie erfolgreich umgesetzt. Das für die Aufnahme verantwortliche Teldex Studio Berlin verwendete RAVENNA-Technologie der Marken Horus und Pyramix von Merging Technologies. Zum Einsatz kam das Horus Network Audiointerface für die Datenkonvertierung. Gemeinsam mit der Software-basierenden Recordingumgebung Pyramix Masscore konnten insgesamt 91 Kanäle innerhalb einer professionellen Recording-Umgebung aufgenommen werden.¹⁵⁸

Weitere Hersteller, wie Digigram, die Lawo AG und SOUND4 bieten RAVENNA-Interfacekarten an, welche in Mischpulte, Stageboxen, Kreuzschienen und Signalkonvertern eingebaut werden können. Digigram bietet z.B. die LX-IP PCIe-Karte an, welche jeweils 256 RAVENNA Ein- und Ausgänge verwalten kann. Der RAVENNA/AES67-Stan-

¹⁵⁸ URL:

http://ravenna.alcnetworx.com/fileadmin/content/ravenna/Papers/Teldex_Vienna_Philharmonic_Summer_Night_Concert_2013-07.pdf [Stand: 31.1.2014]

dard ist nach Angaben des Herstellers in jedem Digigram-Gerät enthalten.¹⁵⁹ Der Hersteller hat sich überwiegend auf die Entwicklung von Audio- und Videotechnik im Broadcast-Bereich spezialisiert.

Die Lawo AG entwickelt ebenfalls für Broadcasting-Anwendungen, aber auch für den Bereich der Festinstallation. Der Hersteller bietet zwei RAVENNA Einschubkarten an, welche für die Kreuzschiene HD Core und für die DALLIS-Stageboxen eingesetzt wird. Maximal können beide RAVENNA-Karten 128 Kanäle bidirektional übertragen werden. Dabei spielt die Taktfrequenz keine Rolle. Sowohl bei 48 kHz also auch bei 96 kHz bietet die RAVENNA-Karte immer die volle Kapazität von 128*128 Kanälen.¹⁶⁰ Die RAVENNA-Karten zeichnen sich zudem durch extrem niedrige Verarbeitungszeiten aus. Dadurch wird die Latenz gering gehalten. Da jede Karte mit zwei RAVENNA-Ports bestückt ist, kann der Aufbau redundanter Systeme ermöglicht werden

Weiterhin sind RAVENNA-basierende Audionetzwerke im Installationsbereich z.B. bei kulturellen und sportlichen Veranstaltungen vorzufinden. Die Lawo AG bietet ein 'Commentary System' an, welches für jene Veranstaltungen eingesetzt werden kann. Die Lösung umfasst neben der eigentlichen Kommentatoreinheit, die IP-basierende Schnittstelle, das softwarebasierende Management-Tool, sowie die zentralisierte Signalübergabe an alle nationalen Rundfunk-Partner.¹⁶¹ Die Technologie wird mit über 200 Einheiten während der Fußballweltmeisterschaft 2014 in Brasilien eingesetzt werden.¹⁶²

Obwohl mittlerweile einige Studios und Rundfunkanstalten mit RAVENNA zum Teil auch in WAN-Bereichen vernetzt sind, findet erst in letzter Zeit eine Umstellung von älteren digitalen Schnittstellen und Audio over Ethernet-Lösungen zu Audio over IP statt. Auch wenn bereits im Hauptstadtstudio in Berlin ca. 50 Produktionsinseln mit RAVENNA vernetzt sind, ist dieses Marktsegment noch wenig durchdrungen.¹⁶³ Zudem steckt RAVENNA in einer vergleichsweise jungen Entwicklung, weshalb die AoIP-Lösung erst seit kurzer Zeit nachgefragt wird. Dies verdeutlicht auch Jan Ehrlich von der DirectOut GmbH.

„Obwohl die PRODUCER.COM schon bei einigen renommierten Studios [...] und Rundfunkanstalten [...] im Einsatz ist, wird die RAVENNA Option tatsächlich erst jetzt interessant und nachgefragt. Die Gründe sind zum einen, dass die Rundfunkanstalten

159 URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Digigram_ALC_NetworX_Press_Release_en.pdf [Stand: 31.1.2014]

160 URL: <https://www.lawo.com/de/produkte/io-systeme/ravenna-card.html> [Stand:31.1.2014]

161 URL: <https://www.lawo.com/de/produkte/audio-accessories/commentary-system.html> [Stand:31.1.2014]

162 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

163 Begleit-DVD: /Interview/20140124_Herr Hildebrand_RAVENNA

*erst jetzt vorsichtig damit beginnen eine Entwicklung von MADI zu Audio-over-IP zu vollziehen.*¹⁶⁴

Die Firma bietet ihr Produkt PRODUCER.COM, welche sowohl für den Rundfunk, als auch für den Recording-Bereich einsetzbar ist, mit einer eingebauten RAVENNA-Karte an.

4.8 AES67

AES 67 ist eine von der Audio Engineering Society (AES) entwickelte Lösung, für den Audiodatentransport über IP-Netzwerke aus dem Jahr 2013. Motivation und Ziel ist es einen Standard für Audio over IP zu etablieren, der Interoperabilität zwischen den bisher existierenden Lösungen ermöglicht. AES67 definiert dafür Richtlinien und bestimmte Mechanismen, welche andere AoIP-Technologien einhalten müssen.

Eine grundlegende Kompatibilität zwischen Audionetzwerk schließt folgende Eigenschaften prinzipiell aus:

- Netzwerke, welche nicht IP-fähig sind
- Medien die nur geringe Bandbreite benötigen, sprich stark komprimiert sind
- Netzwerke mit geringer Leistungsfähigkeit und Sicherheit, wie z.b. das Internet¹⁶⁵

Da bei der Entwicklung von AES67 und RAVENNA das gleiche Ziel, nämlich die Interoperabilität verfolgt wurde, sind beide Technologien bereits kompatibel zueinander. RAVENNA muss für AES67-Kompatibilität kaum bzw. gar nicht modifiziert werden, da es ähnliche Protokolle verwendet und die gleichen Datenformate unterstützt. Die Systeme unterscheiden sich nur in bestimmten Erweiterungen sind aber ohne Kompromisse kompatibel zueinander. Die Hauptteilnehmer von AES67 sind neben der ALC NetworkX GmbH, Axia, BBC, Clair Brothers, QSC, Nine Tiles, SR und Wheatstone.

¹⁶⁴ E-Mail von Jan Ehrlich: Anlage 1 [31.1.2014]

¹⁶⁵ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/X192_Presentation_NAB_2013_-_Hildebrand_01.pdf [Stand: 28.1.2014]

Technology	X192 support	Comment
RAVENNA	yes	Full support through operational profiles (Generic Profile covers most mandatory requirements)
Livewire	(yes)	Livewire “legacy”: no, but technology bridging possible Livewire “new”: yes (→ RAVENNA)
Q-LAN	(yes)	Requires some protocol & packetization adaption
Dante	?	Depends on company strategy
N/ACIP	(no)	ACIP2 working on extensions for limited stream exchange

Abbildung 14: Kompatibilität einiger AoIP-Lösungen mit AES67¹⁶⁶

Abhängig von der Technologie müssen bestimmte Modifizierungen vorgenommen werden, um eine AoIP-Lösung an AES67 anzupassen. Teilnehmende AoIP-Lösungen bleiben dabei in ihrer ursprünglichen Form erhalten. Meist werden AES67-spezifische Anwendungen angeboten. Ob sich Audinate mit DANTE an der Interoperabilitätslösung beteiligt, ist bislang unklar. Theoretisch ist eine Kompatibilität zwischen DANTE und AES67 möglich. Der N/ACIP-Standard beteiligt sich nicht an AES67.

4.8.1 RAVENNA und AES67

AES67 und RAVENNA sind bereits vollständig kompatibel zueinander, ohne Veränderungen vornehmen zu müssen. Sie unterscheiden sich lediglich in einigen Erweiterungen, welche im Kapitel 4.8.2 aufgezeigt werden.

Beide AoIP-Lösungen nutzen IEEE 1588-2008 für die Synchronisation eines Netzwerks. Dabei kommt in beiden Fällen das Master-Slave-Prinzip des PTPv2 zur Anwendung. Auch für den Pakettransport werden jeweils die RTP/RTCP-Protokolle mit AVP verwendet. Während mit RAVENNA eine Vielzahl an Datenformaten verwendet werden können, setzt AES67 nur die Unterstützung einer Teilmenge dieser Formate voraus, um Kompatibilität zu gewährleisten. Es werden Abtastraten von 48kHz und 96kHz unterstützt. Dabei müssen AES67-kompatible Geräte wenigstens 48kHz unterstützen. Zusätzlich werden Bittiefen von 16 Bit und 24 Bit unterstützt.¹⁶⁷

¹⁶⁶ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/X192_Presentation_NAB_2013_-_Hildebrand_01.pdf [Stand: 28.1.2014]

¹⁶⁷ HILDEBRAND: „RAVENNA AES67 Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_AES67_V1.0.pdf [Stand: 28.1.2014]

AES67 und RAVENNA unterstützen gleichermaßen DiffServ, um eine Klassifizierung des Datenverkehrs im Netzwerk vorzunehmen. Für die AES67-Spezifikation sollen wenigstens folgende drei Klassen unterstützt werden:

Priorität	Verwendung	DSCP-Wert
Hoch	IEEE 1588-2008 Synchronisationsdaten	EF (46)
Mittel	RTP-Streamdaten mit Medieninhalten	AF 41 (34)
Niedrig	Nachrichten zum Verbindungsmanagement Sonstiger Datenverkehr außerhalb der AES67-Spezifikation	DF (0; Best Effort)

Tabelle 6: Klassifizierung anhand der Differentiated Services Code Points bei AES67¹⁶⁸

AES67 und RAVENNA verwenden verschiedene Protokolle für das Verbindungsmanagement. Während RAVENNA mit dem RTSP SDP-Dokumente zwischen den Geräten kommuniziert, ist für AES67 das Session Initiation Protocol (SIP) spezifiziert. Das Protokoll wird bei Voice over IP-Anwendungen aber auch in der ACIP-Spezifikation für Codec-basierende Audioübertragung eingesetzt. Da das Gerüst von RAVENNA um zusätzliche Protokolle erweitert werden kann, kann SIP problemlos in das AES67-Profil von RAVENNA integriert werden. Dabei nutzen RAVENNA-Geräte weiterhin RTSP/SDP für das Verbindungsmanagement, während SIP für die Kommunikation mit Geräten, welche das AES67-Profil nutzen, angewendet wird.¹⁶⁹ Wie ein Geräteservice im Netzwerk veröffentlicht und erkannt wird ist innerhalb von AES67 nicht definiert. RAVENNA-Geräte mit dem AES67-Profil behalten in diesem Fall ihre Mechanismen für die Anzeige und Suche von Diensten bei. Standardmäßig basieren diese Mechanismen auf dem Zero Configuration-Dienst Bonjour. Wenn ein AES67-kompatibles Gerät, welches nicht RAVENNA-fähig ist und auch kein Bonjour unterstützt, konfiguriert werden soll, kann das immer noch auf manuellem Wege geschehen.¹⁷⁰

¹⁶⁸ HILDEBRAND: „RAVENNA AES67 Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_AES67_V1.0.pdf [Stand: 28.1.2014]

¹⁶⁹ HILDEBRAND: „RAVENNA AES67 Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_AES67_V1.0.pdf [Stand: 28.1.2014]

¹⁷⁰ HILDEBRAND: „RAVENNA AES67 Draft 1.0“ URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_AES67_V1.0.pdf [Stand: 30.1.2014]

5 DANTE

5.1 Allgemein

DANTE ist eine IP-basierende Lösung zur Übertragung von Audiodaten für zeitkritische Anwendungen. Seit der Markteinführung im Jahr 2006 gilt DANTE als eine der am weitesten verbreiteten Audio over IP-Lösungen weltweit. DANTE basiert auf offenen und flexibel anpassbaren Standards aus dem IT-Bereich. Die Technologie ist nicht öffentlich und wird mit einer Lizenzpolitik vertrieben.

5.1.1 Hersteller Audinate

Audinate ist eine 2006 in Australien gegründete Firma, welche sich auf die Entwicklung und Vermarktung ihres AoIP-Produkts DANTE spezialisiert hat. Das Unternehmen konnte sich bis heute global ausbreiten und hat mehrere Verwaltungen in Großbritannien, Australien und den USA.



Abbildung 15: Das Signet der Firma Audinate

Audinate nimmt aktiv an der AVnu Alliance teil, eine Organisation, welche sich der Interoperabilität im AV-Bereich, durch die Förderung der IEEE 802.1 Audio Video Bridging-Standards, widmet. AVB ist ein Standard für Audio over Ethernet.

5.1.2 Einordnung ins OSI-Referenzmodell

DANTE baut auf dem Internet Protocol auf und ist daher auf der Vermittlungsschicht des OSI-Referenzmodells anzusiedeln. Einige der verwendeten Protokolle, wie UDP und RTP arbeiten auf der Transport- bzw. Sitzungsschicht, weshalb der Aufgabenbereich eines DANTE-Systems auch höheren Schichten zuzuordnen ist.

5.1.3 Basiskomponenten

Zur Realisierung eines qualitativen Audiostreams nutzt die DANTE-Technologie teilweise offene Standards. Alle verwendeten Protokolle sind IP-basierend, weshalb eine Übertragung bei DANTE unabhängig vom zugrundeliegenden Netzwerk erfolgt. Die verwendeten Protokolle, Mechanismen und Netzwerkdienste lassen sich in Aufgabengebiete unterteilen, welche in Tabelle 6 grob zusammengefasst sind. In den Kapiteln 5.2 bis 5.6 werden diese näher beschrieben.

Aufgabe	Protokoll/ Netzwerkservice
Zeitsynchronisation	Precision Time Protocol Version 2 (PTPv2; IEEE 1588-2008)
Datenübertragung	Realtime Transport Protocol (RTP) Realtime Transport Control Protocol (RTCP) User Datagram Protocol (UDP)
Verbindungsaufbau und -management	Zero Configuration Networking (Bonjour) Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP) Zen (von Audinate entwickelte proprietäre Technologie)
Geräte-Konfiguration	DANTE Control Protocol (von Audinate entwickeltes proprietäres Protokoll)
Quality of Service	Differentiated Services (DiffServ)

Tabelle 7: Die Basiskomponenten der DANTE-Technologie

5.2 Verwendung des Internet Protocol

5.2.1 Infrastruktur

Die DANTE-Technologie basiert auf dem Internet Protocol. Demnach können Pakete unabhängig von der zugrundeliegenden Infrastruktur übertragen werden. Datentransport ist sowohl in einer Fast Ethernet-Umgebung, als auch in Gigabit-Netzwerken möglich. Im Gegensatz zu Fast Ethernet, welches eine Übertragungsrate von 100 Mbit/s aufweist, bringt eine Gigabit-Vernetzung entscheidende Vorteile mit sich, von denen die DANTE-Technologie im vollen Umfang profitiert. Niedrigere Latenzen, bessere Synchronisation, Minimierung von Datenstaus und eine höhere Anzahl an übertragbaren Kanälen sind charakteristisch für Gigabit-Übertragungsraten. Generell rät der Hersteller Audinate davon ab 100 Mbit/s-Netzwerke zu verwenden, da hohe Latenzen entstehen können und nicht mehr als maximal 48 Kanäle je Richtung gleichzeitig übertragen werden sollten.¹⁷¹ Ohne Quality of Service-Unterstützung ist die DANTE-Technologie in Fast Ethernet-Netzwerken erst gar nicht realisierbar.

Werden IP-basierende Gigabit-Netzwerke genutzt, müssen Audio- und Kontrolldaten nicht von sonstigem Datenverkehr getrennt werden, wie es bei Technologien der Schicht 1 und 2 des OSI-Referenzmodells der Fall ist. Netzwerkdienste, wie Differentiated Services klassifizieren die Pakete und können dadurch wichtige Mediendaten gezielt bei der Übertragung priorisieren. Quality of Service in DANTE wird in Kapitel 5.6 beschrieben. DANTE basiert auf den gleichen Standards, wie jene, die TCP/IP Computernetzwerke auf der ganzen Welt betreiben. Zur TCP/IP-Protokollfamilie gehören IP, TCP, UDP, IGMP und ICMP. Dabei werden Audiodaten über den UDP/IP-Standard transportiert, welcher kompatibel mit den TCP/IP-Daten ist.

DANTE nutzt standardmäßig Unicast, welches die Effizienz bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen maximiert. Falls ein Signal zu mehreren Geräten gesendet werden soll, kann ein DANTE-Sender auf Multicasting umkonfiguriert werden. Multicast macht nach Angaben des Herstellers Audinate Sinn, wenn ein Streams von mindestens drei Geräten gleichzeitig empfangen werden soll.¹⁷² DANTE-Empfänger benötigen aber keine Anpassung hinsichtlich Unicast und Multicast.

¹⁷¹ URL:

http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/setting_up_dante/switches/what_is_the_minimum_requirement_for_switches_in_a_dante_network.htm [Stand: 22.1.2014]

¹⁷² URL:

http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/setting_up_dante/network_basics/when_does_it_make_sense_to_use_multicast_rather_than_unicast.htm [Stand: 22.1.2014]

DANTE kann theoretisch in jeder beliebigen Netzwerktopologie aufgebaut werden. Aus Performance-technischen Gründen, empfiehlt sich jedoch eine Sternstruktur. Vorteilhaft ist, dass sich jedes Gerät in einem LAN mit einem zentralen Switch verbindet. Dadurch wird die Anzahl an Switch Hops minimiert, welche ein Datenpaket durchlaufen muss. Ein DANTE-Netzwerk kann sowohl mit Switches als auch mit Routern aufgebaut werden. Router werden für den Pakettransport über Weitverkehrsnetze (WAN) in andere LANs genutzt.

5.2.2 Verwendung proprietärer Protokolle

Da DANTE einen proprietären Lösungsansatz bietet, sind viele über der Vermittlungsschicht arbeitenden Protokolle verschlossen. Zu bestimmten Protokollen, wie dem DANTE Control Protocol werden keine Informationen von Audinate veröffentlicht. Auch die von Audinate entwickelte Zen-Technologie, welche automatische Geräteerkennung ermöglicht, ist proprietär.

Das für die Datenübertragung verwendete AppleTalk Transaction Protocol ist zwar in RFC 1742 beschrieben, stammt aber aus dem ursprünglich proprietären Protokollset von AppleTalk.¹⁷³ Daher kann nur schlecht abgeschätzt werden, inwiefern die Protokolle bei DANTE interpretiert werden und zur Anwendung kommen. Aus diesem Grund werden in einigen Kapiteln bestimmte Sachverhalte weniger detailliert beschrieben.

5.2.3 Kanalanzahl

Da DANTE kanalabhängige Lizenzen an Original Equipment Manufacturers (OEM) verteilt, ergibt sich eine maximale Obergrenze von 1024 bidirektional übertragbaren Kanälen pro Netzwerkknoten, auch wenn bei einer Gigabit-Vernetzung deutlich mehr Kanäle realisierbar sind. Entscheidend ist zudem die Wahl der Formatierung eines Pakets. Bei DANTE existiert ein bestimmtes Verhältnis zwischen der Samplerate und der Kanalanzahl. Bei der Verdopplung der Samplerate wird die Kanalanzahl halbiert. Praktisch ergeben sich daraus 512*512 Kanäle bei 48kHz, während 256*256 Kanäle bei 96kHz übertragbar sind, vorausgesetzt die Bittiefe beträgt immer 24-Bit.¹⁷⁴

Diese obere Grenze der Kanalanzahl variiert je nach Gerät und Hersteller. Während Yamaha Mischpulte der CL-Serie jeweils 512 Ein- und Ausgänge unterstützen, erlaubt

¹⁷³ URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/AppleTalk> [Stand: 30.1.2014]

¹⁷⁴ URL: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=99#How%20many%20audio%20channels%20does%20Dante%20support? [Stand: 23.1.2014]

die DANTE Virtual Soundcard eine Verarbeitung von 128 Kanälen bidirektional. Andere Implementierungen von Dante unterstützen wiederum 256 bidirektionale Kanäle pro Gerät.

5.2.4 Datenformate

Für den professionellen Audiobereich werden alle relevanten Datenformate unterstützt. Die Samplerate kann von 44.1 kHz bis maximal 192 kHz variieren. Einige DANTE-Geräte unterstützen wiederum nur maximal 96 kHz. Audiosignale werden dabei mit 16, 20, 24 oder 32 Bit PCM-Samples (Pulse Code Modulation) versehen.¹⁷⁵ DANTE erlaubt den Gebrauch mehrerer Datenformate in einem Netzwerk, falls verschiedene Anwendungen integriert werden sollen.

5.2.5 Redundanz

Ein DANTE-Netzwerk kann redundant aufgebaut werden. Jedes RAVENNA-Gerät verfügt über zwei getrennte Dual Network Interface Cards (Dual NIC), welche die gleichen Daten unabhängig voneinander transportieren können. Fällt eine Verbindung aus, dient die zweite Verbindung als Ausfallsicherung. Der Übergang ist dabei unterbrechungsfrei. Auch für die Realisierung redundanter Netzwerke sollten Übertragungsraten von wenigstens 1Gbit/s vorhanden sein.

5.3 Synchronisation (PTP)

Das Timing der DANTE-Geräte wird mit dem IEEE 1588-2008 Precision Time Protocol realisiert. Das Protokoll ermöglicht DANTE-Geräten, ihre zeitliche Eingliederung im Bezug auf andere Geräte im Netzwerk abzuschätzen. Ein DANTE-Gerät weiß genau, wann jedes einzelne Sample ausgespielt werden soll, unabhängig davon wann es angekommen ist. Daraus resultieren niedrige Latenzen und Sample-genaueres Ausspielen zwischen den Geräten, selbst in komplexen Netzwerken. DANTE setzt auf ein flexibles und selbstreparierendes Taktungssystem, welches unabhängig von der Samplerate arbeitet. Dadurch kann ein DANTE-Netzwerk gleichzeitig mehrere Sampleraten zwischen unterschiedlichen Geräten verwalten, ohne dass Taktungsprobleme oder sonstige Konflikte auftreten.¹⁷⁶

¹⁷⁵ URL: http://hiqnet.harmanpro.com/content/images/misc/hiqnet_guide_to_audio_networking.pdf [Stand: 20.1.2014]

¹⁷⁶ URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audio%20Networks%20Past%20Present%20and%20Future.pdf> [Stand: 23.1.2014]

IEEE 1588-2008 liegt in DANTE-Netzwerken als Hardware-unterstützende Variante vor. Für die im Kapitel 5.5.5 beschriebene DANTE Virtual Soundcard wird PTPv2 rein als Software verwendet.

5.3.1 Verbreitung der Masterclock (Operation 1)

Jedes DANTE-Gerät kann im Netzwerk als Mastertakt ausgehandelt werden. Ein Gerät veröffentlicht Informationen zur Qualität der eigenen Clock. Anschließend wählt ein Best Master Election Protocol den besten Takt aus.¹⁷⁷ Wurde ein Gerät als Synchronisationsquelle ausgewählt, verbreitet es seine absolute Zeit im gesamten Netzwerk. Da der Mastertakt von der Samplefrequenz und damit vom Audiosignal entkoppelt ist, hat er auf den Audiostream keinen Einfluss, sollte dieser Takt verloren gehen. Fällt der Mastertakt aus, wählt das Best Master Election Protocol einen neuen Taktgeber innerhalb weniger Sekunden aus, ohne hörbare Auswirkungen auf die Signale. In der Zwischenzeit haben die Slaves im Netzwerk keine Möglichkeit ihr Timing von einem Master zu beziehen. Die Geräte beziehen ihr Timing solange von ihrem eigenen Takt. Dieser Zustand wirkt sich daher auch nicht auf die Audioqualität aus, da in dem Zeitraum kaum Abweichungen zur Masterclock auftreten.

Geräte, welche nur vorübergehend im Netzwerk aktiv sind und danach die Verbindung abbauen, sollten nicht als Master ausgewählt werden. Entscheidet sich das Best Master Election Protocol dennoch für ein solches Gerät, kann mit Hilfe des DANTE Controllers ein Mastertakt manuell bestimmt werden.¹⁷⁸ Der DANTE Controller ist eine Softwareanwendung, mit welcher DANTE-Netzwerke konfiguriert werden können. Die Software und ihre Funktionen sind in den Kapiteln 5.5.4 und 5.5.5 beschrieben.

Wird ein DANTE-Netzwerk im WAN-Bereich aufgebaut, können auch externe Taktgeber, wie GPS, als Synchronisationsquelle genutzt werden.

5.3.1.1 Clock Domains

Clock Domains ermöglichen das Vorhandensein mehrerer Masterclocks in einem Netzwerk. Sie unterteilen die Geräte im Netzwerk hinsichtlich ihrer Taktung, welche sie von verschiedenen Masterclocks erhalten können. Netzwerkknoten gleicher Taktung wer-

¹⁷⁷ URL:
http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/setting_up_dante/clocking/how_is_the_master_clock_determined.htm
[Stand: 23.1.2014]

¹⁷⁸ URL:
http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/setting_up_dante/clocking/is_it_possible_to_force_a_specific_device_to_become_the_master_clock.htm [Stand: 23.1.2014]

den zusammengefasst. Wenn ein Master seinen Takt verteilt, wird zusätzlich eine Domainnummer angegeben. Jedes Gerät kann dadurch der entsprechenden Domain zugeordnet werden, um sicherzustellen, dass es seine Zeitinformationen über PTPv2 ableitet. Die Erstellung von Clock Domains eignet sich ebenso in WAN-Umgebungen, wenn GPS als Synchronisationsquelle genutzt wird. Zwei voneinander getrennte Netzwerke erhalten die gleiche Domainnummer, um GPS als gleichen Mastertakt anzusehen. Dadurch ist auch eine präzise Synchronisation in WANs möglich.

5.3.2 Erzeugen der Mediaclocks (Operation 2)

Durch Network Interface Controller gelangen die Informationen des Mastertakts an die lokalen Uhren jedes Gerätes, welche ihr lokales Timing dem Takt des PTP-Masters anpassen. Jedes DANTE-Gerät leitet daraufhin seine Mediaclock ab. Die Mediaclock übernimmt die zeitliche Steuerung der Mediendaten und wird für die Bestimmung des Jitterbuffers verwendet. Da jedes Gerät über eine sehr präzise lokale Uhr verfügt, welche sich an der Masterclock orientiert, können Jittereffekte bis zu einem gewissen Grad minimiert werden.¹⁷⁹

5.4 Datenübertragung

Pakete werden bei DANTE mit dem UDP/IP-Standard übertragen. UDP ist für AoIP-Anwendungen geeignet, da eine umfassende Fehlerprüfung und -korrektur weniger wichtig ist, als der Datentransport in Echtzeit. Verlorene Pakete und eine daraus resultierende Verschlechterung der Qualität werden in Kauf genommen. In geschlossenen IPv4-Netzen mit ausreichend Übertragungsrate sind Paketverluste aber kaum vorzufinden. Um dennoch eine zuverlässige Paketauslieferung in richtiger Reihenfolge zu gewährleisten, kommt bei DANTE das AppleTalk Transaction Protocol zum Einsatz.¹⁸⁰ ATP gehört zu der AppleTalk-Protokollfamilie und arbeitet auf der Transportschicht des OSI-Referenzmodells. Die Appletalk-Protokolle sind im RFC 1742 beschrieben.

Seit der Interoperabilität mit der Audio over Ethernet-Lösung AVB, kann die Datenübertragung ebenso mit der RTP-Erweiterung IEEE 1733 umgesetzt werden. Die AVB-Technologie wird im Kapitel 5.9 beschrieben.

179 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20AVB%20White%20Paper%20v1.2.pdf> [Stand: 29.1.2014]

180 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20AVB%20White%20Paper%20v1.2.pdf> [Stand: 29.1.2014]

5.4.1 Packen und Entpacken

Das Protokoll nimmt Signaldaten vom Sender auf und teilt die Daten in Pakete zur Übertragung. Danach werden die Pakete am Empfänger wieder zu den Signaldaten zusammengefügt, unter Beibehaltung der zeitlichen Eigenschaften des ursprünglichen Signals. Das Packen und Entpacken der Signale geschieht innerhalb eines DANTE-Geräts. Die maximale Größe eines IP-Pakets wird von DANTE nicht vorgegeben. Abhängig vom Nutzlastformat sind verschiedene Größen sinnvoll. Ist die gewünschte Anzahl an Samples erreicht, werden die Audiosignale in ATP-Pakete verpackt und am Port einer Network Interface Card ausgesendet. Inwiefern ATP für das Stream Timing verantwortlich gezeichnet werden kann, ist allerdings unbekannt.

5.4.2 Beschreibung des Streams

Protokolle wie das bei RAVENNA verwendete Session Description Protocol arbeitet auf der Anwendungsschicht. DANTE als proprietäre Technologie gibt darüber keine Auskunft, weswegen die Beschreibung des Streams nicht thematisiert werden kann.

5.4.3 Latenzen

In simplen Netzwerken können für DANTE extrem niedrige Latenzen von 150 μ s umgesetzt werden. Minimal sind sogar 83.3 μ s möglich. Bei sehr komplexen Gigabit-Netzwerken mit über zehn Switch Hops, sollten Latenzzeiten von wenigstens 5 ms ausgewählt werden, um ein gleichzeitiges Ausspielen zu ermöglichen.

Anzahl der Switch Hops	Minimale Latenzzeit
Ein Switch Hop (sehr kleines Netzwerk)	0.15 ms
Drei Switch Hops (kleines Netzwerk)	0.25 ms
Fünf Switch Hops (mittelgroßes Netzwerk)	0.5 ms
zehn Switch Hops (großes Netzwerk)	1 ms
Über zehn Switch Hops (extrem großes Netzwerk)	5 ms

Tabelle 8: Verhältnis der Anzahl an Switch Hops zur minimalen Latenz¹⁸¹

¹⁸¹ URL:
http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/setting_up_dante/latency/how_is_latency_adjusted_in_a_dante_system.htm [Stand: 29.1.2014]

Die Latenz wird entsprechend des Anwendungsgebietes manuell über die Konfigurationssoftware DANTE Controller gewählt. Je höher die Latenz ist, um so mehr Kanäle sind übertragbar, da größere Zeitbuffer am Empfänger zur Verfügung stehen. Dabei können für ein Netzwerk mehrere Latenzen festgelegt werden. Die Abhängigkeit der Latenzzeit zu bestimmten Parametern ist bereits im Kapitel 4.4.3.1 beschrieben.

5.5 Verbindungsaufbau und -management

Am Aufbau eines DANTE-Netzwerks sind mehrere Protokolle beteiligt, welche unterschiedliche Aufgaben während des Prozesses erfüllen. Die einzelnen Schritte werden in den Folgekapiteln beschrieben.

5.5.1 Adressierung und Konfiguration

Um ein DANTE-Gerät mit einem IP-Netzwerk zu verbinden, müssen grundlegende Einstellungen, wie der Erhalt einer IP-Adresse, vorgenommen werden. Für die Vergabe der Adressen sind verschiedene Dienste, wie das Dynamic Host Control Protocol und das Domain Name System in einem Netzwerk verantwortlich. Falls das Netzwerk einen DHCP/DNS-Server hat, wird ein Gerät seine IP-Konfiguration von diesen Server erhalten. DHCP sollte in jedem Netzwerk unterstützt werden. Ist kein DHCP-Server vorhanden, kann sich ein Gerät, zumindest in kleinen Netzwerken, automatisch eine Adresse geben. Dies geschieht unter Verwendung des Zeroconf-Dienstes Bonjour.¹⁸²

Einige DANTE-fähige Geräte unterstützen kein DHCP. Demnach kann nicht jedes Gerät seine Einstellungen vom DHCP-Server empfangen. Geräte der iLive-Serie müssen folglich manuelle IP-Konfiguration erhalten.

5.5.2 Sichtbarkeit von Diensten im Netzwerk

Ist die Vergabe der IP-Adressen abgeschlossen, veröffentlicht ein Gerät seine Dienste im Netzwerk. Anschließend können sich die Geräte im Netzwerk automatisch finden. Die automatische Geräteerkennung und -konfiguration bezeichnet Audinate oftmals als 'True Plug and Play'. Diese Eigenschaft von DANTE wird mit einem von Audinate ent-

¹⁸² DANTE Controller User Guide, URL: http://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/#discovery_and_auto-configuration.htm [Stand: 23.1.2014]

wickeltem Protokoll ermöglicht. Dieser Bereich von DANTE ist daher proprietär, da die als Zen bezeichnete Technologie nicht öffentlich zugänglich ist.¹⁸³

Zusätzlich veröffentlicht ein DANTE-Gerät seinen Gerätenamen, seine Audiokanalbezeichnungen, seine Kanalanzahl und das verwendete Datenformat. Anhand dieser Informationen kann mit dem DANTE Controller erkannt werden, inwieweit Geräte zueinander kompatibel sind. Dadurch wird verhindert, dass ein Gerät einen Stream empfängt, den es nicht angefordert hat.

5.5.3 Streaming Name und Inhaltsbezeichnung

Ein DANTE-Gerät und zugehörige Audiokanäle, werden anhand ihres Namens identifiziert. Jeder Geräte- und Kanalname muss im Netzwerk einzigartig sein. Auch das Routing von DANTE läuft über die Geräte- und Kanalnamen. Für die Namensvergabe der Kanäle ist ebenfalls die Zen-Technologie zuständig.¹⁸⁴

Fällt ein Gerät aus, kann dieses durch ein Backup-Gerät ersetzt werden, indem der Backup den gleichen Namen wie das Original erhält. Wird das Backup-Gerät in das Netzwerk integriert, übernimmt es sofort die gleichen Einstellungen wie das Original. Andere Geräte im Netzwerk, werden den Ausfall nicht wahrnehmen und ihre Streaming-einstellungen zu diesem Gerät nicht ändern. Wird der Backup anders genannt als das Original, werden Empfängergeräte ihre Einstellungen zu dem Sender nicht wiederaufnehmen.

Falls ein neues Gerät ins Netzwerk eingebunden wird und den gleichen Namen erhält wie ein bereits integriertes Gerät, dann wird eines der Geräte solange versuchen seinen Namen zu bekommen bis es ihn erhält. Die Änderung von Kanal- und Gerätenamen kann an einem Fernsteuerpunkt vom DANTE Controller übernommen werden. Existieren zwei gleiche Namen wird der DANTE Controller eine 'ERROR'-Meldung aussenden und die Einstellung zurückweisen. Das Problem kann nur gelöst werden, wenn eines der Geräte umbenannt wird.¹⁸⁵

183 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20White%20Paper%20on%20Dante%20-%20Digital%20Audio%20Networking%20Just%20Got%20Easy%202.0US-09A09.pdf> [Stand: 29.1.2014]

184 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20White%20Paper%20on%20Dante%20-%20Digital%20Audio%20Networking%20Just%20Got%20Easy%202.0US-09A09.pdf> [Stand: 29.1.2014]

185 DANTE Controller User Guide, URL: http://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/#device_names_and_channel_labels.htm [Stand: 2.2.2014]

5.5.4 Gerätekonfiguration

Die Konfiguration der Audiogeräte übernimmt der DANTE Controller. Die Basis für den Controller bildet das DANTE Control Protocol, welches eine proprietäre Technologie von Audinate ist und im Folgenden nicht näher beschrieben werden kann. Um den DANTE Controller zu nutzen müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein. Die Software ist für die Betriebssysteme Windows 7, Windows 8, sowie Apple Macintosh OS X 10.7.5, 10.8.5 und 10.9. vorhanden. Außerdem muss der Bonjour-Dienst (bzw. DANTE Discovery) installiert sein, welcher benötigt wird, um die Software ins Netzwerk einbinden zu können.¹⁸⁶

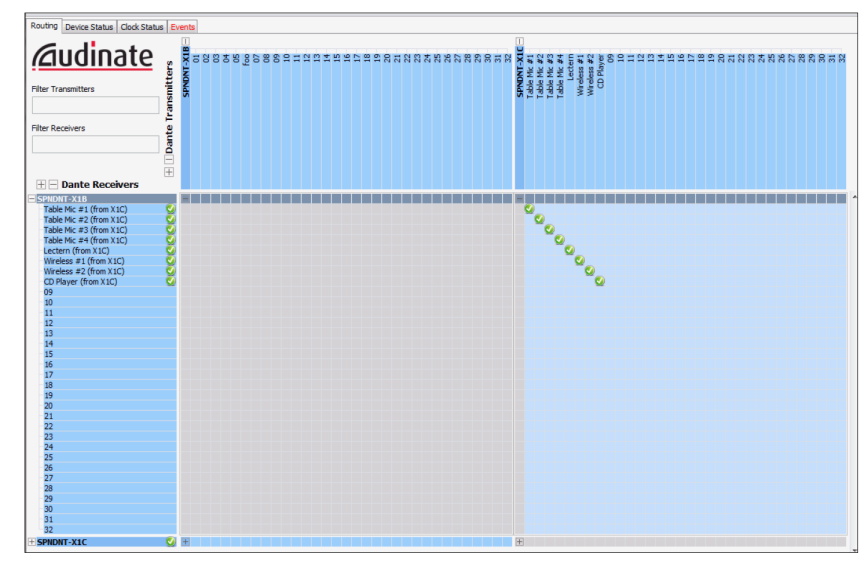


Abbildung 16: Routing-Matrix des Dante Controllers von Audinate¹⁸⁷

Des Weiteren ist die Softwareanwendung für Routing Einstellungen innerhalb eines DANTE-Netzwerks zuständig. Alle Geräte, einschließlich ihrer Kanäle, sind sichtbar. Dabei können die Kanäle anhand einer Matrix beliebig geroutet werden. Eingestellte Routen sind als Presets abspeicherbar und können im Offline-Modus editiert werden, ohne dass eine Verbindung zu dem Netzwerk besteht. Weiterhin können mit dem DANTE Controller die Latenz an Empfängergeräten, die Samplerate und bestimmte Clocking-Einstellungen einzelner Geräte geändert werden.¹⁸⁸

¹⁸⁶ DANTE Controller User Guide, URL: http://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/#minimum_system_requirements.htm [Stand: 2.2.2014]

¹⁸⁷ URL: http://www.lectrosonics.com/aspensupport/WebHelp/spndnt/setup/images/dnt_ctrl01.gif [Stand: 3.2.2014]

¹⁸⁸ DANTE Controller User Guide, URL: http://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/#about_dante_controller.htm [Stand: 2.2.2014]

5.5.5 Monitoring

Netzwerke werden mit dem DANTE Controller überwacht. Statusmeldungen zum Netzwerk und den teilnehmenden Geräten werden angezeigt. Konkret übernimmt der Controller folgende Aufgaben:

- Sichtbarkeit aller DANTE-Geräte einschließlich ihrer Kanäle im Netzwerk
- Sichtbarkeit aller Mediaclocks von DANTE-Geräten und dazugehörigen Netzwerkeinstellungen
- Anzeige der verwendeten Multicastbandbreite
- Anzeige der verwendeten Bandbreite jedes Geräts

DANTE-Geräte können zudem ihren Status im DANTE Controller anzeigen lassen. Der Status beinhaltet Änderungen bei der Taktung oder den Netzwerkinterfaces. Der Computerservice, der die Kontrolle übernimmt heißt in DANTE-Netzwerken 'ConMon' oder 'Dante Control and Monitoring'.¹⁸⁹

5.5.6 Einbinden eines Personal Computers

Die DANTE Virtual Soundcard ist eine Softwareanwendung, welche einen Computer als DANTE-Gerät in ein Netzwerk integriert. Über den Ethernet-Anschluss des Computers können Streams empfangen und gesendet werden. Es wird kein Interface zusätzlich gebraucht. Die DVS bietet sich vor allem für Multitrackrecording und Playback-Wiedergabe an. Mit der DVS können maximal 64*64 Kanäle verwaltet werden. Dabei unterstützt die virtuelle Soundkarte 48 kHz und 96 kHz. Bei Windowssystemen werden zusätzlich 44.1 kHz unterstützt.

Die aktuelle Version der DANTE Virtual Soundcard unterstützt folgende Treiber: Core Audio (Mac OS X), Steinberg ASIO (Windows) und WDM (Windows). Dadurch lassen sich viele der üblichen DAWs, wie Nuendo, Cubase, Reaper, Sonar, Logic und Pro Tools 9 einbinden. Dank der Treiber können auch einfache Mediaplayer, wie iTunes, VLC und Winamp eingebunden werden. Ist Windows das Betriebssystem, wird der Computer nicht mit Bonjour sondern mit DANTE Discovery zum Netzwerk verbunden. Die Audinate-eigene Software ist bei der Installation des DANTE Controllers oder der DVS enthalten.

¹⁸⁹ DANTE Controller User Guide, URL: http://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/#dante_control_and_monitoring.htm [Stand: 2.2.2014]

Die DVS weist höhere Latenzen auf, als DANTE-Hardwaregeräte, da hier die rein Software-basierende Variante von PTPv2 genutzt wird. Bei Tonaufnahmen, für welche DVS hauptsächlich verwendet wird, sind höhere Latenzen unbedeutend. Einstellbare Latenzwerte sind 4, 6 und 10 ms.¹⁹⁰

Eine weitere Möglichkeit Computersysteme in ein DANTE-Netzwerk zu integrieren ist die Verwendung der DANTE PCIe Card. Die Einschubkarte verwendet zugehörige Hardware, ermöglicht viele Kanäle zu verwalten und garantiert Latenzen im Millisekundenbereich. Die DANTE PCIe bietet jeweils 128 Ein- und Ausgänge und unterstützt Samplefrequenzen von 44.1 bis 192 kHz.¹⁹¹

5.6 Quality of Service

DANTE nutzt DiffServ, um Pakete klassifizieren zu können. Die verwendeten Switches müssen deswegen Quality of Service unterstützen.¹⁹² Die meisten handelsüblichen Ethernetswitches bieten QoS-Unterstützung an und können daher problemlos verwendet werden. Die Klassifizierung geschieht anhand von Differentiated Services Code Points (DSCP). Bis zu 64 Klassen sind möglich. Die Tabelle 8 zeigt, wie DANTE die DSCPs für die Paketpriorisierung einsetzt.

Priorität	Verwendung	DSCP-Wert
Hoch	IEEE 1588-2008 Synchronisationsdaten	CS7
Mittel	UDP-Streamdaten mit Medieninhalten	EF
Niedrig	reserviert	CS1
Keine	sonstiger Datenverkehr	Best Effort

Tabelle 9: Klassifizierung anhand der Differentiated Services Code Points bei DANTE¹⁹³

Bevorzugt werden Audio-, Kontroll- und Synchronisationsdaten übertragen. Somit können Multimediadaten das gleiche Netzwerk mit anderem Datenverkehr teilen, ohne dabei in Konflikt zu geraten. Dadurch werden Kosten eingespart.

¹⁹⁰ DANTE Virtual Soundcard Userguide, URL: http://dev.audinate.com/GA/dvs/userguide/webhelp/#front_page.htm [Stand: 2.2.2014]

¹⁹¹ URL: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=241 [Stand: 31.1.2014]

¹⁹² Eine Liste empfohlener Switches für DANTE: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=201&Itemid=213 [Stand: 2.2.2014]

¹⁹³ URL: http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/setting_up_dante/switches/how_does_dante_use_dscp_-_diffserv_priority_values_when_configuring_qos.htm [Stand: 3.2.2014]

Da DANTE auf IP basiert, kommt kein Protokoll für die Reservierung von Bandbreiten zur Anwendung. Da DANTE aber kompatibel zum Ethernet-basierenden Audio Video Bridging (AVB) ist, kann in AVB-Umgebungen Ressourcen Reservierung für DANTE-Streams ermöglicht werden. Die Kompatibilität mit AVB wird im Kapitel 5.9 näher geschrieben.

5.7 Einsatz von DANTE

Die Eigenschaften von DANTE erlauben ein vielfältiges Einsetzen der Technologie in unterschiedliche Bereiche der professionellen Audiotechnik. Vorrangig wird die AoIP-Lösung im Live- und Installationsbereich eingesetzt, kann aber auch für die Vernetzung von Rundfunkanstalten und Aufnahmesituationen genutzt werden. Eine präzise Synchronisation, der Aufbau redundanter Wege, die Unterstützung niedriger Latenzen und verschiedener Datenformate, sowie ein unkompliziertes Verbindungsmanagement sprechen für das DANTE-System.

5.7.1 Partnerfirmen

Audinate bietet sogenannten Original Equipment Manufacturers die Nutzung ihrer Technologie an. Dabei werden Kanal-abhängige Lizenzen verteilt. Seit der Veröffentlichung im Jahr 2006 beteiligten sich viele Hersteller an der Verbreitung der AoIP-Lösung. Zu den OEMs von Audinate zählen nach Angaben der Webpräsenz des Herstellers folgende 65 Firmen:

AEQ, Allen & Heath, Ashly Audio, ASL, Atlas Sound, Attero Tech, Auvitran, Aviom, Behringer, Bittner Audio, Bosch, Bose, BSS, Cadac, ComNet Software, Crest Audio, DAD, Delec ,DHD, Digico, Digital Audio Labs, EAW Electro-Voice, ESI, ESS, Extron Electronics, Focusrite, Four Audio, Glensound, Harman, IED, Inter-M, Jato, JoeCo, Jünger Audio, Klark Teknik, Lab.gruppen AB, Lake, Lectrosonics, Linea Research, Link SRL, Midas, Nexo, NTP, Peavey, Peavey MediaMatrix, Phonic, Pivitec, PreSonus, RTS, Sierra Automated Systems, Shure, Sierra Automated Systems, Solid State Logic, Solidyne, Sound Devices, Soundcraft, Stagetec, Stewart Audio, Studio Technologies, Symetrix, Televic Conference, Tendzone, TEQSAS, Whirlwind, Xilica Audio Design, XTA, Yamaha, Zaxcom.

Zusätzlich sind Attero Design und ZP Engineering gelistet, welche ebenfalls die DANTE-Technologie nutzen dürfen, aber nicht an eine Lizenz gebunden sind.¹⁹⁴

¹⁹⁴ URL: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=343&Itemid=213 [Stand: 31.1.2014]

5.7.2 Einsatzgebiete

Mehrere Gerätehersteller aus dem Audibereich haben DANTE-fähige Geräte auf dem Markt gebracht. Audinate bietet Hardware-Prozessoren an, welche, z.B. in Form von Einschubkarten, ein Audiogerät DANTE-fähig machen.¹⁹⁵ Zusätzlich werden Softwareprogramme, wie die DANTE Virtual Sound Card und den DANTE Controller angeboten. Je nach Partnerfirma und erworbener Lizenz können die Produkte in unterschiedlicher Ausführung vorliegen. DANTE-fähige Produkte sind beispielsweise Mischpulte, Break-out-Boxen, Entstufen-Controller, Stageboxen und digitale Funkempfänger von Mikrofonen.¹⁹⁶

DANTE wird hauptsächlich im Live-Bereich eingesetzt. Dabei erfüllt die AoIP-Lösung Voraussetzungen, wie die Bereitstellung niedriger Latenzen und störungsfreier Redundanz, die Unterstützung vieler Datenformate, sowie die Verwaltung einer hohen Kanalanzahl. DANTE wurde bereits für viele Welttourneen namenhafter Musiker und Bands, wie den Foo Fighters, Bruce Springsteen, Barbara Streisand und Oasis, eingesetzt. Das Beispiel der Oasistour verdeutlicht, dass im Livebereich eine leicht umsetzbare Verbindung zu allen Endpunkten des Audionetzwerks signifikant ist. Dabei sollten Kriterien, wie eine hohe Kanalanzahl und niedrige Latenzen eingehalten werden. Während der Tour wurden Audiosignale vom Front of House an die Bühnen- und Hauptbeschallung mit DANTE transportiert. Aufgrund der Größe der Konzerte wurden Delay Lines eingesetzt, um eine weitflächige Beschallung zu ermöglichen. An jeder Delay Line befanden sich DANTE-fähige Breakout-Boxen des Herstellers XTA, welche digitale in analoge Signale wandelten und anschließend an die Lautsprecher sendeten. Um über weite Strecken verlustfreie Übertragung zu ermöglichen, wurden für die DANTE-Strecken Lichtwellenleiterkabel verwendet.¹⁹⁷

Zum Anwendungsbereich der DANTE-Technologie gehören auch weitere kulturelle und sportliche Großveranstaltungen, wie die MTV Music Awards oder die Olympischen Winterspiele in Vancouver 2010. Bei Letzterem sorgten während der Eröffnungsfeier und der Abschlusszeremonie im BC Place Stadion in Vancouver mehr als 100 DANTE-Netzwerkkomponenten für sichere Audioverbindungen.¹⁹⁸

¹⁹⁵ Folgende Produkte bietet Audinate an: DANTE Brooklyn II Module, DANTE Netspander, DANTE Ultimo, DANTE Product Development Kit, DANTE PCIe Soundcard, DANTE-MY16-AUD Card

¹⁹⁶ Eine Liste aller verfügbaren DANTE-Geräte ist unter folgender URL zu finden:
http://dev.audinate.com/kb/product_catalogue/webhelp/ [Stand: 1.2.2014]

¹⁹⁷ URL: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=177&Itemid=213 [Stand: 1.2.2014]

¹⁹⁸ URL: <http://www.trius-audio.de/component/content/article/42-labgruppen/79-dante-vernetzt-die-olympischen-winterspiele-in-vancouver> [Stand: 1.2.2014]

DANTE-Netzwerke sind auch in vielen kulturellen Einrichtungen, wie dem Opernhaus in Sydney, aber auch öffentlichen Bildungseinrichtungen, wie der Goethe Universität in Frankfurt, vorzufinden. Verschiedene Vorgaben in den Bereichen Flexibilität und Skalierbarkeit wurden mit DANTE an der Universität umgesetzt. Das Netzwerk musste die Möglichkeit haben, mit einfachen Mitteln zusätzlich ausgebaut werden zu können. Außerdem musste die Technologie in der Lage sein, bestehende IP-Strukturen und bereits verwendetes IT-Equipment, wie Switches, Router und Kabeltypen nutzen zu können. Ziel war es, zwei Campusbereiche mit mehreren Universitätsgebäuden zu vernetzen, um Medieninhalte überall verfügbar zu machen. Dabei sollten bis zu 96 Audiokanäle pro Gebäude verfügbar sein. An der Universität standen 10 Gbit/s-Backbones zur Verfügung, welche den Transport verschiedener Video- und Audiodaten gewährleisten sollten. Dazu wurden über eine Matrix der Marke Crestron AV digitale Signale an die DANTE-fähige A/V-Matrix NIONS von Peavey gesendet. Mit Peavey XDAB konnten größere Gruppen der NIONS zusammengefasst werden, um die erforderliche Kanalanzahl realisieren zu können. Dadurch entsteht ein sogenanntes XDAB-Cluster. Innerhalb des Clusters wird ein XDAB-Master festgelegt, welcher die Synchronisation übernimmt, bestimmte Aufgaben verteilt und Regeln vorgibt.¹⁹⁹ Wird der Cluster in VLANs unterteilt, um z.B. eine inhaltliche Trennung einzelner Fakultäten vorzunehmen, muss pro VLAN ein Mastergerät vorhanden sein. Des Weiteren müssen Geräte des gleichen VLANs der gleichen Clock Domain angehören. An den Randbereichen des Netzwerks wurden CAB4n-Breakoutboxen von Peavey eingesetzt. Hier fand die Wandlung der digitalen in analoge Signale statt, sodass auch Analogtechnik mit eingebunden werden konnten. An bestimmten Endpunkten kamen aber auch DANTE-fähige Line Arrays zum Einsatz. Die Qflex Line Array-Lautsprecher des Herstellers Tannoy wurden in größeren Vorlesungsräumen installiert.²⁰⁰

5.8 IEEE 802.1 Audio Video Bridging

Audio Video Bridging ist eine Reihe von Standards die von dem Institute of Electrical and Electronics Engineers eingeführt wurde. Die AVnu Alliance, welcher auch Audinate angehört, widmet sich der Förderung der IEEE 802.1 Spezifikation. Die Technologie basiert auf dem Ethernet-Standard nach IEEE 802.3 und soll als Standard für den Audiotransport in IT-Netzwerken etabliert werden.

199 Media Matrix DANTE Networking Guide. URL: <http://www.peaveyoxford.com/kc/Dante%20Networking%20Guide.pdf> [Stand: 1.2.2014]

200 URL: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=289&Itemid=213 [Stand: 1.2.2014]

Die AVB-Standards bieten neue Funktionen für Switches und sonstigen Geräte im Netzwerk an, um eine noch zuverlässigere Übertragung zu ermöglichen. Im Kern enthält die Technologie drei Methoden, welche das Verhalten eines Ethernetnetzwerks, bezüglich der Unterstützung zeitkritischen Datenverkehrs, verbessert.

802.1AS ist ein Teilgebiet des IEEE 1588-2008 Precision Time Protocol (PTPv2). Die Spezifikation ist dabei speziell für die Verwendung von PTP in IEEE 802 spezifizierten Netzwerkinfrastrukturen, wie Ethernet gedacht. Ein *802.1AS*-fähiger Switch ist beim Synchronisationsprozess selbst beteiligt, anstatt nur die Synchronisationspakete weiterzuleiten. *802.1AS* Pakete, welche ein Switch empfängt und versendet sind mit einem Zeitstempel versehen. Dadurch können Schwankungseffekte beim Synchronisieren vermieden werden, indem die PTP-Pakete in keine Warteschlangen geraten.

Mit *802.1Qav* wird die Effizienz einer paketbasierenden Übertragung erhöht. Das Traffic-Shaping-Verfahren sorgt dabei für eine optimierte Abarbeitung der Datenpakete und stellt eine effiziente Ausnutzung der verfügbaren Bandbreite sicher. Wie bei anderen Schemata (z.B. DiffServ) wird auch bei *802.1Qav* der höherklassige Verkehr dem anderen vorgezogen. *802.1Qav* definiert dafür zwei neue Klassen. Dabei wird festgelegt, wie Switches Pakete bevorzugt behandeln, wenn sie die neuen Stream-Klassen weiterleiten. Latenzzeiten können dadurch in Grenzen gehalten werden, da sichergestellt wird, dass die Wartezeit wichtiger Medienpaketen limitiert ist.

802.1Qat ist eine Spezifikation zur Bandbreitenreservierung. Ethernet-Switches unterstützen das Stream Reservation Protocol (SRP), um die Latenzzeit priorisierter Datenpakete zu minimieren. Dafür muss die Summe der Bandbreite für den priorisierten Verkehr reserviert sein. Bei AVB liegt diese Grenze bei ca. 75% der Bandbreite pro Leitung. Damit können selbst in Fast Ethernet-Netzwerken Latenzen von 2ms über sieben Switch Hops ermöglicht werden. Geräte im System signalisieren dem Netzwerk, anhand des SRP-Protokolls, ihre Anforderungen an die Bandbreite vor der Übertragung. Anschließend werden die Pakete aus den Ports geleitet und nur über Streams gesendet, bei denen Bandbreiten erfolgreich reserviert wurden. Multicast-Nachrichten werden dadurch nur an Empfänger verteilt, welche den reservierten Stream registriert haben.²⁰¹

201 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20AVB%20White%20Paper%20v1.2.pdf> [Stand: 22.1.2014]

5.8.1 AVB Domains

Ein AVB-fähiges Netzwerk kann sich nicht mit einer Infrastruktur verbinden, welche kein AVB unterstützt. Nur AVB-fähige Switches können eine Domain bilden, in welcher Konnektivität möglich ist und die AVB-Attribute unterstützt werden. Datenstreams können nur innerhalb einer solchen AVB-Wolke ausgetauscht werden. Viele Ethernetswitches sind aktuell noch nicht AVB-fähig. In den meisten Fällen muss daher ein Eingriff in die Hardware vorgenommen werden, um AVB-Attribute unterstützen zu können.

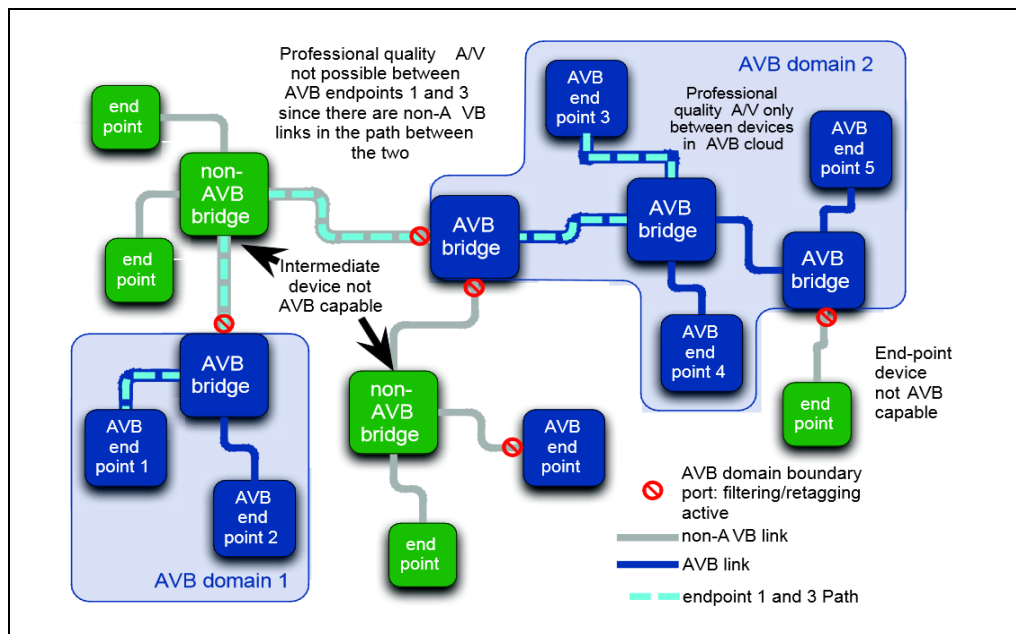


Abbildung 17: Konnektivität der AVB-Technologie²⁰²

Liegt zwischen zwei AVB-fähigen Geräten ein Switch, welcher kein AVB unterstützt, können beide Geräte keine Verbindung zueinander aufbauen. Wie in Abbildung 17 zu sehen können nur die blau markierten Bereiche miteinander kommunizieren. Dabei ist es jedoch nicht möglich die AVB Domain 1 mit der AVB Domain 2 zu verbinden, da ein nicht AVB-fähiger Switch (hier: Bridge) zwischen beiden Domains liegt. Daher wird für AVB-Netzwerke eine komplett neue Infrastruktur benötigt.

5.8.2 DANTE und AVB

DANTE-Geräte können bereits, per Firmware Updates, AVB-kompatibel gemacht werden. Dazu müssen gegebenenfalls Änderungen im Grundgerüst der DANTE-Technologie vorgenommen werden. Die von DANTE verwendeten Verfahren und Protokolle, welche von AVB nicht unterstützt werden, bleiben bestehen. Auch bestimmte Eigen-

202 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20AVB%20White%20Paper%20v1.2.pdf> [Stand: 22.1.2014]

schaften, wie der Aufbau redundanter Netzwerke wird erhalten bleiben, da AVB keine Unterstützung für diese Funktion anbietet. DANTE wird dabei von den Vorteilen der AVB-Technologie vor allem im Bereich Quality of Service profitieren.

AVB unterstützt IEEE 1722 und IEEE 1733 für den Medientransport, welche von DANTE ursprünglich nicht unterstützt werden. IEEE 1722 ist ein Transportprotokoll, welches auf Schicht 2 des OSI-Referenzmodells arbeitet. Es nutzt Firewire IEEE 1394 Frames und setzt sie in Ethernet Frames ein. Die Schnittstelle spielt allerdings kaum mehr eine Rolle, die sie von USB und eSATA den Rang abgelaufen bekommt. IEEE 1733 ist eine Erweiterung des weltweit verbreiteten Realtime Transport Protocol (RTP). RTP-Streams profitieren dabei von den Dienstleistungen, welche von der AVB-Technologie unterstützt werden. DANTE wird IEEE 1722 und IEEE 1733 bei einem AVB-Update zusätzlich zu ATP unterstützen.

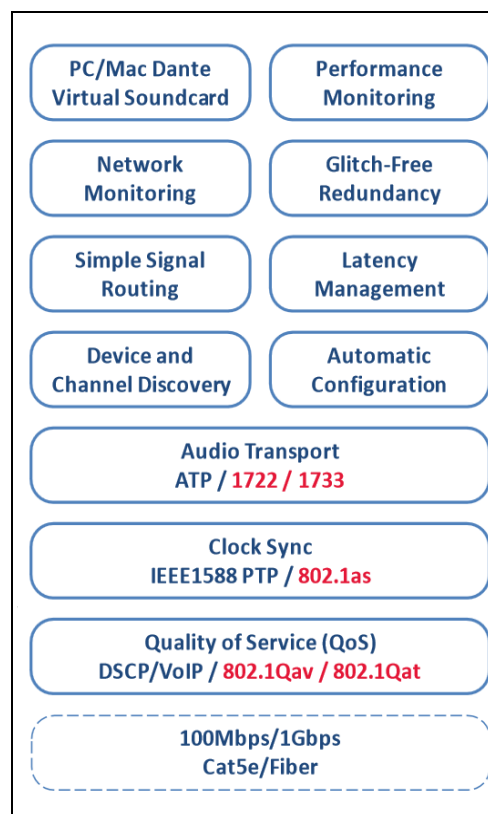


Abbildung 18: Das DANTE-Grundgerüst mit AVB-Update²⁰³

Die im Kapitel 5.8 erwähnten Dienste der AVB-Technologie werden von einem AVB-kompatiblen DANTE-System ebenfalls unterstützt. Weitere Unterschiede werden bei den Protokollen offenbar, welche für das Verbindungsmanagement verwendet werden.

203 URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20AVB%20White%20Paper%20v1.2.pdf> [Stand: 22.1.2014]

Während DANTE eine proprietäre Lösung anbietet, nutzt AVB DNS Service Discovery für die Geräteerkennung. Neben DNS-SD unterstützt AVB UPnP SSDP. Weiterhin wird IEEE 1722.1 unterstützt, um Geräteerkennung in IEEE 1722-basierenden Streams anzubieten. Auch hier werden übernommene Protokolle und Dienste die DANTE-eigenen Protokolle nicht ersetzen.

6 Fazit

Der zu klärende Kernaspekt der wissenschaftlichen Arbeit bestand im Vergleich der Audio over IP-Lösungen DANTE und RAVENNA. In Kapitel 2 wurden zunächst Grundlagen der Netzwerktechnik erläutert, welche im Allgemeinen, sowie für den Themenbereich Audio over IP relevant sind.

Die Grundlagen von Audio over IP wurden im Kapitel 3 fortgeführt. Es konnte festgestellt werden, dass bisherige digitale Audionetzwerke nicht kompatibel zueinander sind und bei der Entwicklung einer Technologie oft kommerzielle Interessen verfolgen. Daraus entstehen proprietäre System, welche keine Interoperabilität ermöglichen. Zusätzlich wurde geklärt, inwiefern Audio over IP-Lösungen von der Verwendung IP-basierender Protokolle, im Gegensatz zu Audio over Ethernet-Lösungen, profitieren. Dafür wurden Eigenschaften einer AoIP-Lösung, wie DANTE und RAVENNA, beschrieben und mit einer AoE-Lösung, wie CobraNet und Ethersound, verglichen.

Im Hauptteil der Arbeit wurden die technischen Eigenschaften der AoIP-Lösungen DANTE und RAVENNA in den Kapitel 4 und 5 ausführlich beschrieben. Deutlich wird, dass beide Hersteller ihre Technologie als weltweit verbreiteten Standard etablieren möchten. Beide gehen dafür unterschiedliche Wege. Während RAVENNA ausschließlich offene und standardisierte Protokolle nutzt, kommen bei DANTE auch proprietäre Protokolle zur Anwendung. RAVENNA ist öffentlich zugänglich, während DANTE mit einer kanalabhängigen Lizenz vergeben wird.

Für die jeweiligen Aufgabenbereiche werden bei beiden Technologien verschiedene und teilweise auch gleiche Protokolle genutzt. Die größten Unterschiede sind beim Verbindungsaufbau und -management auszumachen. RAVENNA setzt ausnahmslos offene Standards, wie DHCP, DNS, Bonjour, RTSP und SDP ein. Konfigurierte Geräte werden mit DNS-SD oder mDNS sichtbar gemacht. RTSP und SDP, welche den Verbindungsaufbau zu einer Sitzung ermöglichen sind für DANTE nicht vorgesehen und werden durch die Audinate-eigene Zen-Technologie ersetzt. Zen ermöglicht vollständig automatische Geräteerkennung und -verbindung. Die Technologie ist allerdings proprietär und somit nicht öffentlich zugänglich. Auch für die Gerätekonfiguration nutzt DANTE eine in sich geschlossene Lösung. Der DANTE Controller, welcher auf dem DANTE Control Protocol basiert, verfügt über vielfältige Einstellmöglichkeiten und Routingoptionen. RAVENNA setzt für die Gerätekonfiguration HTTP ein, welches Einstellparameter auf einer Website anbietet.

Auch für die Datenübertragung kommen unterschiedliche Protokolle zur Anwendung. Die Untersuchung hat gezeigt, dass RAVENNA einen geordneten Streamempfang mit dem Realtime Transport Protocol ermöglicht. DANTE setzt dagegen auf das Apple Talk Transaction Protocol. Beide Lösungen haben hier gemeinsam, dass die Übertragung mit dem UDP/IP-Standard realisiert wird.

Weitere Gemeinsamkeiten wurden bei der Synchronisation des Netzwerks ausgemacht. Beide Lösungen verwenden das Master-Slave-Prinzip des Precision Time Protocol (IEEE 1588-2008). Des Weiteren bieten beide Lösungen Dual Network Interface Cards an, um ein System redundant aufzubauen. Auch im Bereich der Quality of Service Parameter fällt auf, dass beide DiffServ für die Priorisierung wichtiger Multimedia- und Kontrolldaten verwenden.

Mit der Kompatibilität zu AVB, kann in DANTE-Netzwerken zusätzlich Traffic Shaping und Stream Reservierung eingesetzt werden. Durch ermöglicht DANTE besseres Quality of Service. Die Kompatibilität zu dem AoE-Standard wird aber erst in Zukunft eine größere Rolle spielen, da es bisher nur wenige Geräte gibt, welche die AVB-Dienste unterstützen. RAVENNA setzt im Vergleich dazu auf eine Kompatibilität mit AES67. Da beide Lösungen für AoIP fast identisch aufgebaut sind, können beide Technologien miteinander operieren. Während DANTE mit AVB seine Interoperabilität ausweitet, werden RAVENNA und AES67 eine weitflächigen Standard für AoIP darstellen.

Die beiden Kapitel zu den Anwendungsbereichen haben offengelegt, dass DANTE und RAVENNA ähnlich erfolgreich für bestimmte Marktsegmente eingesetzt werden können. Dabei ist eine Anwendung von RAVENNA voranging für den Broadcastbereich bestimmt, während DANTE überwiegend für Live Sound eingesetzt wird. Verschiedene Beispiele unterstreichen die Aussage. Dennoch ist es möglich beide Technologien für Recordinganwendungen und Festinstallationen einzusetzen.

DANTE konnte sich bisher weitflächig im professionellen Audibereich etablieren, da die Technologie bereits 2006 auf dem Markt eingeführt wurde. Viele Hersteller nehmen an der Verbreitung der Technologie teil. Auch RAVENNA wird bereits weltweit eingesetzt und hat das Interesse vieler Hersteller geweckt.

Betrachtet man die Entwicklung beider Lösungen, fällt auf, dass das Ziel einer weitflächigen Interoperabilität einen hohen Stellenwert hat. Vor allem durch AVB und AES67 erfährt der AoIP-Bereich eine stärkere Vereinheitlichung, da es möglich ist mehrere AoIP-Lösungen, welche zu einem gewissen Grad Ähnlichkeiten aufweisen, miteinander zu verknüpfen. Ob DANTE und RAVENNA zukünftig kompatibel zueinander sein werden ist bislang unklar und hängt in erster Linie von der Herstellern ab. Ziel sollte es je-

doch sein das Gebiet der Interoperabilität im AoIP-Bereich stärker voranzutreiben, um einen allgemeingültigen Standard etablieren zu können.

7 Kritik

Im Rahmen des Hauptteils der Arbeit konnten nicht alle Bereiche Eins-zu-Eins miteinander verglichen werden. Da nicht jeder Bereich der DANTE-Technologie öffentlich ist, konnten bestimmte Eigenschaften nicht beschrieben werden.

Weiterhin wurde auf nähere Untersuchungen der Anwendungsgebiete beider Technologien verzichtet. Die Kapitel, welche sich mit der Thematik beschäftigen sind sehr allgemein gehalten, würden aber bei detaillierter Ausführung den Umfang dieser Arbeit überschreiten.

Zudem konnten keine praktischen Erfahrungen mit den Technologien gesammelt werden. Gewonnene Erkenntnisse hätten in die Arbeit mit einfließen können.

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bedanken:

bei meinem Erstprüfer Prof. Dipl. Toningenieur Mike Winkler und meinem Zweitprüfer Dipl.-Ing. (FH) René Fritzsche, für die Begeisterung, die sie meinem Thema entgegen gebracht haben.

bei Andreas Hildebrand, dem Senior Product Manager der ALC NetworX GmbH, für das Bereitstellen wichtiger Informationen und die Beantwortung vieler Fragen zum Thema RAVENNA und AES67.

bei Jan Ehrlich von der DirectOut GmbH und Andreas Hilmer von der Lawo AG für wertvolle Informationen zu den Anwendungsbereichen der RAVENNA-Technologie.

bei meiner Freundin Charlotte Behling, meiner Mutter Birgit Köhler, meinem Bruder Martin Köhler, sowie bei meinen Freunden Christoph Hinkel und Daniel Seidel für ihre große Hilfe beim Korrekturlesen.

Literaturverzeichnis

CHURCH Steve: Audio over IP - Building Pro AoIP Systems with Livewire. Focal Press 2010.

COMER Douglas E.: TCP/IP. 1. Auflage, mitp-Verlag, Bonn 2003.

DAVIES David: Ravenna comes of Age. PSN Europe November 2012. URL: <http://content.yudu.com/A1zlfj/PSNENov2012/resources/14.htm>, Stand: 6.1.2014.

DICKREITER Michael et al. (Hg.): Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1 & 2, 7. Auflage. München 2008.

FREYER Ulrich: Optische Netze. Deutsches Institut für Breitbandkommunikation GmbH, Düsseldorf 2010.

HARTPENCE Bruce: Praxiskurs Routing & Switchung. O'Reilly Verlag GmbH & Co. KG, Köln 2012.

HILDEBRAND Andreas: Networked Audio: Aktuelle Entwicklungen & Technologische Perspektiven für den Broadcast-Markt, VDT International Convention 2010. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/TMT-2010_Manuskript-Hildebrand-DB5.pdf, Stand: 18.11.2013.

HILDEBRAND Andreas: RAVENNA AES67 Draft 1.0. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA__AES67_V1.0.pdf, Stand: 12.11.2013

HILDEBRAND Andreas: RAVENNA WDM Virtual Sound Card-Specification. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_WDM_Virtual_Sound_Card_-_Specification.pdf, Stand: 14.1.2014

HILDEBRAND Andreas: X192 Presentation NAB 2013. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/X192_Presentation_NAB_2013_-_Hildebrand_01.pdf, Stand: 28.1.2014

HILDEBRAND Andreas, MICHL Ralf, HEINZMANN Stefan: RAVENNA Operating Principles – Draft 1.0. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_Operating_Principles_-_Draft_1.0_final.pdf, Stand: 12.11.2013

LANGHANS Sonja, METZ Andreas: "Audio over IP" in der Kontribution, FKT 2010.

URL: <http://www.irt.de/webarchiv/showdoc.phpz=NDQwOCMxMDA2MDE2MTEjcGRm>,

Stand: 6.1.2014

PROF. PLATE, Jürgen: Repeater, Bridge, Router. FH München 2008. URL:

<http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz7.html>, Stand: 9.12.2013.

RIGGERT Wolfgang: Netzwerktechnologien. Carl Hanser Verlag, Leipzig 2002.

RIGGERT Wolfgang: Rechnernetze. 4. Auflage, Carl Hanser Verlag, München 2012.

SCHÜRMANN Bernd: Grundlagen der Rechnerkommunikation. 1. Auflage, Vieweg Verlag, Wiesbaden 2004.

SCHREINER, Rüdiger: Computernetzwerke – Von den Grundlagen zur Funktion und Anwendung. Carl Hanser Verlag, München 2007.

PROF. WEIBEL Hans: The Second Edition of the High Precision Clock Synchronization Protocol. Zürich 2009. URL:

http://www.ines.zhaw.ch/fileadmin/user_upload/engineering/_Institute_und_Zentren/INES/Downloads/Technology_Update_IEEE1588_v2.pdf, Stand: 10.1.2014.

Literaturquellen ohne Autor

„Address Allocation for Private Internets“. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc1918>, Stand: 27.11.2013.

„Apple Talk“. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/AppleTalk>, Stand: 30.1.2014

„Audio Networks Past Present and Future“. Australien 2011. URL:

<http://www.audinate.com/images/PDF/Audio%20Networks%20Past%20Present%20and%20Future.pdf>, Stand: 3.12.2013.

„Audio via IP“. URL: http://audio-via-ip.com/downloads/mayah_ip_compendium_de.pdf,

Stand: 7.1.2014.

„Bonjour/ Zeroconf“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1706061.htm>, Stand: 7.1.2014.

„CSMA/CD und Kollisionen (Ethernet)“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1406181.htm>, Stand: 6.12.2013.

„DANTE Controller User Guide“. URL: http://dev.audinate.com/GA/dante-controller/userguide/webhelp/#discovery_and_auto-configuration.htm, Stand: 23.1.2014

„DANTE – Digital Audio Networking just got easy“. URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20White%20Paper%20on%20Dante%20-%20Digital%20Audio%20Networking%20Just%20Got%20Easy%202.0US-09A09.pdf>, Stand: 29.1.2014

„DANTE FAQs“. URL: <http://dev.audinate.com/kb/webhelp/content/home.htm>, Stand: 22.1.2014

„DANTE vernetzt die olympischen Winterspiele in Vancouver“. URL: <http://www.trius-audio.de/component/content/article/42-labgruppen/79-dante-vernetzt-die-olympischen-winterspiele-in-vancouver>, Stand: 1.2.2014

„DANTE Virtual Soundcard Userguide“. URL: http://dev.audinate.com/GA/dvs/userguide/webhelp/#front_page.htm, Stand 2.2.2014

„DHCP Dynamic Host Configuration Protocol“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0812221.htm>, Stand: 24.1.2014

„Distance Vector Multicast Routing Protocol“. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Distance_Vector_Multicast_Routing_Protocol, Stand: 28.11.2013.

„DNS Domain Name System“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0901141.htm>, Stand: 24.1.2014

„Dynamic Host Configuration Protocol“. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Dynamic_Host_Configuration_Protocol, Stand: 24.1.2014

„Evolving Networks to Audio Video Bridging (AVB)“. Australien 2011. URL: <http://www.audinate.com/images/PDF/Audinate%20AVB%20White%20Paper%20v1.2.pdf>, Stand: 3.12.2013.

„HIQNET Guide to Audio Networking“. URL: http://hiqnet.harmanpro.com/content/images/misc/hiqnet_guide_to_audio_networking.pdf, Stand: 20.1.2014

„ICMP Internet Control Message Protocol“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0901011.htm>, Stand: 14.1.2014

„Introduction to IP Networking for Audio“. Australien 2013. URL: <https://docs.google.com/presentation/d/1EGrl0ARA7R81zlieVWvLVrW4zrawLv8ivg1heBgusuc/pub?start=false&loop=false&delayms=3000#slide=id.p38>, Stand: 20.11.2013.

„Media Matrix DANTE Networking Guide“. URL: <http://www.peaveyoxford.com/kc/Dante%20Networking%20Guide.pdf>, Stand: 1.2.2014

„Multicast Backbone“. URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Multicast_Backbone, Stand: 28.11.2013.

„Multicast/Multicasting“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1806041.htm>, Stand: 28.11.2013.

„Layher-3-Switch“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1405171.htm>, Stand: 30.11.2013.

„Load Balancing“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0906201.htm>, Stand: 12.1.2014

„Oasistour“. URL: http://www.audinate.com/index.php?option=com_content&view=article&id=177&Itemid=213, Stand: 1.2.2014

„Pullups/Pulldowns“. URL: http://www.mackie.com/support/FAQ/pullups_pulldowns.html, Stand: 24.1.2014

„RAVENNA Web Flyer“. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/RAVENNA_WEB_Flyer_2013.pdf, Stand: 14.11.2013

„RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications“. URL: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3550.txt>, Stand: 6.12.2013.

„RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control“. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc3551>, Stand: 24.1.2014

„Routing“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0810101.htm>, Stand: 01.12.2013.

„SDP: Session Description Protocol“. URL: <http://tools.ietf.org/html/rfc4566>, Stand: 6.1.2014.

„Switching“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907141.htm>, Stand: 30.11.2013.

„The Principles of Digital Audio“. Australien 2013. URL: <https://docs.google.com/presentation/d/1OmxXylKuKJ0NizTiD5jxkhcHLM2JECj66lBOJ8k3JRE/pub?start=false&loop=false&delayms=3000#slide=id.p70>, Stand: 20.11.2013.

„Twisted Pair“. URL: <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0603191.htm>, Stand: 9.12.2013.

Presseartikel

„Teldex lose weight: Horus with Pyramix on a laptop aids a busy work schedule“. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/fileadmin/content/ravenna/Papers/Teldex_Vienna_Philharmononic_Summer_Night_Concert_2013-07.pdf, Stand: 31.1.2014

„Digigram Strengthens Collaboration With ALC NetworX, Speeds Delivery of AES67/RAVENNA-Enabled Products“. URL: http://ravenna.alcnetworx.com/uploads/media/Digigram_ALC_NetworX_Press_Release_en.pdf, Stand: 31.1.2014

Hinweis: Alle verwendeten Quellen im .pdf-Format sind auf der Begleit-DVD unter /Quellennachweise zu finden. Da auf einige White Papers nur nach einer Registrierung zugegriffen werden kann, können diese bevorzugt auf der DVD eingesehen werden. Flüchtige Quellen, wie Wikipedia-Artikel, sind in ihrer Form zum Zeitpunkt des Zugriffs ebenfalls auf der DVD enthalten. Das Interview mit Herr Hildebrand befindet sich im Ordner /Interview.

Anlagen

Anlage 1:	E-Mail vom 31.1.2014 von Jan Ehrlich	Seite XIV
Anlage 2:	E-Mail vom 31.1.2014 von Andreas Hilmer	Seite XVI

Anlage 1: E-Mail vom 31.1.2014 von Jan Ehrlich**E-Mail von Jan Ehrlich zu den Anwendungsgebieten von RAVENNA:**

Hallo Herr Köhler,
kein Problem.

Bisher ist nur unser Multiformat Embedder/De-Embedder PRODUCER.COM mit RAVENNA verfügbar (<http://www.directout.eu/de/produkte/producer.com.html>).

Das Gerät ist eine eierlegende Wollmilchsau unter unseren Produkten und ist in der Lage, zwischen zwei Geräten nur über eine MADI Leitung verschiedene Daten zu übertragen (Audio analog, digital, MIDI, Serial etc.). Man erspart sich also mit diesem Gerät jede Menge Verkabelungsaufwand. Zudem kann es auch einzeln als Controller Unit eingesetzt werden. Hier erfolgt die Anwendung meist im Control Room als Gegenpart zum auf der Bühne befindlichen MicPre. Dabei wird u.a. Talk Back und die Rotlicht Steuerung via MADI genutzt (in Verbindung mit dem Audio-signal vom MicPre versteht sich).

Mit der nachrüstbaren RAVENNA Karte habe ich quasi die zusätzliche Anbindung an die Rundfunkwelt. Über eine kleine Kreuzschiene kann man die einzelnen Audiokanäle im MADI Strom (oder beiden Strömen, weil 2x SC optisch) auf das RAVENNA Interface bringen bzw. umgekehrt. Dieses Szenario ist nicht nur für den Rundfunkbereich interessant, sondern grundsätzlich auch für ein Recording Szenario, in dem sich beispielsweise Merging's Horus als MicPre auf der Gegenseite befindet und die Signale über RAVENNA zur Verfügung stellt.

Obwohl die PRODUCER.COM schon bei einigen renommierten Studios (Arcantus, Tonzauber Wien, Polyhymnia, Tonzauber Wien, Soundmirror Bosten) und Rundfunkanstalten (ORF, HR, ZDF, etc.) im Einsatz ist, wird die RAVENNA Option tatsächlich erst jetzt interessant und nachgefragt. Die Gründe sind zum einen, dass die Rundfunkanstalten erst jetzt vorsichtig damit beginnen eine Entwicklung von MADI zu Audio-over-IP zu vollziehen. Zum anderen, war unsere RAVENNA Hardware bisher auf maximal 8 Kanäle begrenzt. In der neuen Version, die demnächst erscheint, erreichen wir ein vielfaches der Kapazität, die MADI im Stande ist zu übertragen. Damit rechtfertigt sich da auch der im Moment noch recht hohe Anschaffungspreis (RAVENNA Option für PRODUCER.COM = 1.500,- €), der wiederum zukünftig auch geringer ausfallen wird.

Bitte lassen Sie es mich wissen, sollten Sie noch weitere Fragen haben.

Bis wann müssen Sie Ihre Arbeit einreichen?

Wir planen nämlich demnächst noch eine weitere RAVENNA Hardware, über die ich aber erst in 6 Wochen sprechen kann.

Viele Grüße

Jan Ehrlich

Jan Ehrlich

DirectOut GmbH

Leipziger Str. 32, 09648 Mittweida, Germany

T +49 (0)3727 6205-333

F +49 (0)3727 6205-79

Registered Office: Mittweida, Amtsgericht Chemnitz, HRB 24741

Managing Directors: Detlev Müller, Stephan Flock, Jan Ehrlich

jan.ehrlich@directout.eu | www.directout.eu

public key xxxxxxxx x-hkp://subkeys.pgp.net

Anlage 2: E-Mail vom 31.1.2014 von Andreas Hilmer**E-Mail von Andreas Hilmer zu den Anwendungsgebieten von RAVENNA:**

Sehr geehrter Herr Köhler,

Bevor ich zum Inhalt komme, eine kurze Vorbemerkung: Freitags eine Antwort

bis Montag einzufordern, halte ich stilistisch zumindest für gewagt.

Hier die gewünschten Beispiele der RAVENNA-basierten Geräte:

Audio-Kreuzschienen:

<https://www.lawo.com/de/produkte/routingsystems/nova73-hd.html>

Audio Mischpulte:

<https://www.lawo.com/de/produkte/broadcast-live-mischpulte/mc256.html>

Kommentatoren-System:

<https://www.lawo.com/de/produkte/audio-accessories/commentary-system.html>

https://www.lawo.com/de/aktuell/news/nbsp/lawo_zeigt_ravenna_basierte_komme

[ntatoreinheit_auf_der_ibc.html](#)

Ich hoffe, ich konnte Ihnen damit weiter helfen.

Mit freundlichen Grüßen

Andreas Hilmer

Director Marketing & Communications

--

Lawo AG | Am Oberwald 8 | 76437 Rastatt | Germany | www.lawo.com

Phone +49 7222 1002 2950 | Mobile +49 151 14037 950 |

andreas.hilmer@lawo.com

--

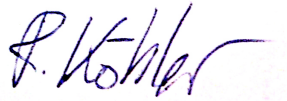
Lawo AG, Registered Office: Rastatt | Amtsgericht Mannheim HRB 707330

CEO: Philipp Lawo | Chairman of the Supervisory Board: Christian Otto,

Attorney at Law

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.



Mittweida, den 5. Februar 2014

Robert Köhler